

تاريخ العلوم الحام

العالم المعاصر القرن التاسع عشر



لف: رنيه قان
رجنة: د. علي مقلد

تاريخ العلوم العام
العلم المعاصر
القرن التاسع عشر

تَارِيخ الْعُلُومِ الْعَامِ

المجلد الثالث
العلم المعاصر
القرن التاسع عشر

بإشراف
رئيسه تاتونج
ترجمة
د. علي مقلد



جميع الحقوق محفوظة
الطبعة الأولى
1410هـ - 1990م

مكتبة المؤسسة الجامعية للدراسات والنشر والتوزيع

بيروت - الحصره - شارع اميل الله - نبأية سلام
هاتف ٨٠٢٤٢٨ - ٨٠٢٤٠٧ - ٨٠٢٤٩٦
بيروت - الصبغة - نبأية طاهره هاتف ٣٠١٠٣٠ - ٣١١٣١٠
ص.ب. ٦٣١١ / ١١٣ تليفون ٤٤٠٦٦٥ - ٢٠٦٨٠ - لبنان

العالم المعاصر
القرن التاسع عشر

هذا الكتاب ترجمة

HISTOIRE GÉNÉRALE DES SCIENCES

publiée sous la direction de
RENÉ TATON

Directeur de recherche au Centre national de la Recherche scientifique

TOME III

LA SCIENCE CONTEMPORAINE

VOLUME I

LE XIX^e SIÈCLE

par

F. ABELÈS, G. ALLARD, P. ASTRUC, L. AUGER, E. BAUER,
B. BEN YAHIA, G. CANGUILHEM, M. CAULLERY, J. CHESNEAUX,
I. B. COHEN, P. COSTABEL, G. DARMOIS, M. DAUMAS, M. DURAND,
R. FURON, P. HUARD, J. ITARD, J. JACQUES, J.-F. LEROY, J. LÉVY,
Ch. MORAZÉ, J. ORCEL, J. PIVETEAU, R. TATON, A. TÉTRY,
M.-A. TONNELAT, A. P. YOUSCHKEVITCH, V. P. ZOUBOV

©PRESSES UNIVERSITAIRES DE FRANCE

المقدمة

نضمن المجلد الأول من هذه المجموعة تطور الفكر العملي في مختلف الحضارات منذ البدايات حتى نهاية العصر الوسيطى . واثاح المجلد الذي تلاه تتبع الازدهار ، والخطوات الأولى وكذلك نهضة العلم الغربى الحديث في عصر النهضة حتى اواخر القرن الثامن عشر . ولاتمام هذه اللوحة الجدانية للملحمة العلمية ، يتبقى علينا ان نصف المسار المتسارع للتقدم منذ الثورة الفرنسية حتى ايامنا .

واذا كان التقطيع الذي وقع عليه الاختيار لا يلحظ منعطفاً حاسماً في تطور الفكر ، فهو يتطابق مع تغير عميق في ظروف العمل العلمي ، ويفتح ، من جراء هذا ، السبيل الى العلم المعاصر . إن تجديد مناهج التعليم ، ثم التطبيق التدريجي للتنظيم العقلاني في البحث احداثاً فيه تسريعاً للتقدم يتبدى بشكل متزايد الواضح ، مما أدى الى إيجاد توسع مستمر لمجال العلم ، ونمو سريع لمختلف فروعه .

ومن المميزات الرئيسية لهذه النهضة ميزة تكمن في التغلب المتزايد للتقنية الرياضية على العلم النظري . وربما كانت الأهمية الكبرى - ولو بحسب استيعاباتها الاجتماعية - هي للعلاقة التي تظهر باستمرار وبوضوح اكبر بين تقدم العلم المحض وتطور التقنيات ، وهي علاقة مزدوجة الاتجاه يبرز وضوحها بالانعكاسات الاكيدة على الصعيد التقني والصناعي في مجالات التقدم الضخم الحاصل في حقول الكهرباء والترموم - ديناميك (التحرك الحراري) والكيمياء ، وكذلك بشأن بعض البحوث ، ذات الأهداف النفعية ، على نحو العلوم المختلفة . ويتوقف البحث العلمي بعد ذلك عن ان يكون نشاطاً فلسفياً خالصاً ، لكي يصبح عاملاً مهماً في التقدم المادي ، ولكي يصبح ظاهرة اجتماعية تبرز أهميتها في أيامنا بشكل ساطع .

ويتوافق مع البروز التدريجي للدور المعطى للعلم في بناء إطار الحضارة المعاصرة ، تطور مواز لظروف البحث العلمي بالذات . وأدى توسع مجال العلم الى تخصص مسرف في نشاط الباحثين كما اقتضى تحسباً مستمراً لوسائل العمل والتقني . كما أن السبل القديمة : سبل الهواية ، وتشجيع

العلم ، بديا غير كافيين ، كما أن الحاجة إلى اطلاق سياسة علمية جريئة بدت مفهومة بشكل متزايد من قبل القادة الأكثر استنارة في بعض بلدان أوروبا الغربية .

وإطلاق هذه الحركة التجديدية من قبل الثورة الفرنسية في أواخر القرن الثامن عشر ، سجل تغييراً مفاجئاً في وتيرة الانتاج العلمي ودشن عصر العلم الحديث .

لقد عرف العلم بعد ذلك نهضة تزداد سرعتها ، ان ضخامة التقدم المتحقق بخلال أقل من قرنين تجاوزت بكثير ما قدمته آلاف السنين السابقة . واتساع هذا المجال الذي تقوم باستكشافه اضطرنا الى تقسيم دراستنا الى قسمين مخصصين للقرن التاسع عشر وللقرن العشرين .

وهذا التقسيم التاريخي الذي اعتمدناه متأثر ببعض التقلبات الرئيسية في مجال الفكر العلمي . من ذلك ان نظرية المجموعات والمنهج البديهي [او نظام البدييات] قد جددا في هذا الفكر روح الرياضيات بالذات . كما ان اكتشاف اشعة اكس والتشاط الاشعاعي ، ونهضة النظرية الذرية الحديثة وولادة نظرية الكم (كانتا) ونظرية النسبية قد فتحت امام العلم مرحلة جديدة في تطور العلوم الفيزيائية . وبالمقابل ، وفي بعض المجالات الأخرى العلمية لم تظهر منعطفات يمثل هذا البروز ، ثم انه من أجل تلافي التقسيم الى حقب شديدة البروز لم نطبق التجزئة الا بمقدار ، تاركين لكل مؤلف حرية اختيار التفصيل الملائم للموضوع المدروس . ونظراً لهذه مقتضيات فان هذا المجلد من القسم الثالث من تاريخ العلوم العام ، المخصص لعلوم القرن التاسع عشر يبدو لنا ذا وحدة داخلية مرضية .

ان المشروع الذي نقوم به يصطدم بعقبات اكيدة مبعثها الاتساع الذي لا يحد لمجال العلم ، وذلك من جراء تمدد وتكاثر عدد المنشورات وكذلك من جراء تنامي تقنية هذه المنشورات ، ومن غير المعقول ان يستطيع مؤلف واحد اجادة تمثيل مجمل الانتاج العلمي في القرن التاسع عشر ، ومن ثم الافصاح عن أهم خطوطه الرئيسية ، ثم تقديم احكام معللة حول مظاهره الأكثر تنوعا والمحاولات النادرة التي حصلت في هذا السبيل ضُحّت ، عن عمد ، بمجالات واسعة من العلم ، واخضت بواسطة السرد التاريخي استحالة السيطرة على مواضيع مطروحة او حلت محل التحليل الحيادي للأحداث عموميات تاريخية أو تأويلات فلسفية مستقاة من طرح سابق على التجربة . ومحاولة الوصف الموضوعي ، كالتى نقوم بها ، لا يمكن ان تنفذ الا بواسطة مجموعة من المؤرخين ورجال العلم ، بحيث يقصر كل مؤلف تحليله على مجال الدرس العائد اليه .

لا شك ان انجاز عمل جماعي بواسطة تعاون العديد من المؤلفين المتخصصين لا يخلو هو أيضاً من مصاعب . واحدى هذه المصاعب البارزة بشكل خاص منذ القرن التاسع عشر ، تنتج عن تجزئة الموضوع الواحد الى قطاعات ضيقة نسبياً ، من شأن حدودها ان تغطي التفاعلات الحصرية التي تبرز بين مختلف مجالات العلم . والواقع ان كل محاولة لوصف وتفسير تطور العلم ، تؤدي حتماً الى التجزئة الكيفية للحقيقة الواحدة غير القابلة للنقاش - إنما الممتنة - : انها تخفي الرؤية الشمولية للتقدم في كل تعقيداتنا . ولتلافي الاسراف في الاختصار المحتوم لخطة العمل التي اعتمدناها ، ولتلافي نقص التقييمات الناتجة من هذا الاختصار ، جهد كل مؤلف في القاء الضوء على العلاقات التي توحد وتجمع بعض مظاهر دراسته الى غو المجالات الأخرى العلمية . وهكذا يرد ذكر التيارات المتنوعة ، تيارات

البحوث ، كما تُذكرُ الأحداث المختلفة في عدة فصول تعرضها تحت أضواء يكمل بعضها بعضاً بحيث تظهر صورتها الحقيقية بشكل أفضل .

وهناك صعوبة أخرى تكمن في عرض الموضوع بالذات . لقد اخترنا طريقاً وسطاً بين حلين أقصيين : التأليف التبسيطى الذي لا يأخذ بالدقة التقنية ويكتفى بالأحداث الصغرى او بالتقريبات الخريبة ، والتأليف المبني على الدراسة المتخصصة التى تدخل في كل لحظة في التفصيل الدقيق للأحداث بحيث يستعصي تناولها الا على القراء المطلعين تماماً على تيار النظريات المبحوثة . من أجل هذا حاول المؤلفون ان يوفقوا بين المطلين المتناقضين ظاهراً : مطلب الدقة ومطلب الوضوح ، محاولين بأن واحد اعطاء صورة امينة ما امكن عن النظريات وعن الأحداث المذكورة ، ومن ثم تجنب التوغل في التقنية . ومن المؤكد في كل حال انه من المستحيل التطلع الى تحليل المكتسبات الرئيسية لعلوم القرن التاسع عشر ، دون استخدام معجمية علمية اساسية ، ودون ذكر بعض النصوص الدقيقة ، وبعض المعادلات أيضاً .

وبعد عرض قصير لمناخ العصر تتعرض الاقسام الخمسة ، من هذا المؤلف ، للتقدم الحاصل في مختلف مجالات العلم في القرن التاسع عشر . والتصنيف الذي اعتمدناه يتطابق بأكثر ما يمكن من الأمانة مع هيكليّة هذا العلم . ولهذا يبدو هذا التصنيف أكثر توسعاً وأكثر دقة من التصنيفات التي اتبعناها في مختلف اجزاء المجلد السابق ، دون استلهاج وجهات النظر الموجهة في العصرية . ويمكن مناقشة هذا التفصيل حتّى ، الا ان كل صيغة أخرى تتعرض أيضاً لانتقادات مماثلة . ويكون من العيب ، برأينا ، اعطاء مسألة الخطوة اهمية مفهومية ليست لها ، نظراً لاعتدال وجود الحل المرضي تماماً .

يعالج الجزء السادس ظروف الحياة العلمية في اوربوا الغربية أولاً ، وهي المساوى الاكيد لمعلم القرن التاسع عشر ، ثم في روسيا وبعدها في الولايات المتحدة وهي بلد تدل نبضته السريعة على النجاحات الساطعة اللاحقة ، ثم أخيراً في المناطق التي ما تزال جزئياً معزول عن النهضة المشهودة للعلم الغربي . وتدل هذه الفصول المتنوعة على تأثير الظروف السياسية والاجتماعية المتزايد على تطور العلم وعلى التوسع المستمر في هذا العلم المعاصر الذي تمتد سيطرته الجغرافية بصورة تدريجية على كل اجزاء الكون .

نذكر أخيراً ان دراستنا تستبعد أيضاً تاريخ العلوم الانسانية وتاريخ التقنيات . والعلاقات الأكثر قرباً ، والتي تظهر بين غو العلوم المحضة وغو التقنيات ، نذكرها في عدة مناسبات ، ولكننا احتفظنا بتحليل انعكاساتها على الصعيد العملي لتضمينه مجلدات موازية أخرى . كما ان وجود دراسات مهمة تربتية مثل التاريخ العام للحضارات قد سمح لنا أن نحد من وصف الاطار السياسي والاقتصادي والاجتماعي والفلسفي . وكما هو الحال بالمجلدات السابقة من هذه المجموعة ، يعتبر هذا المجلد الجديد من التاريخ العام للعلوم حصيلة تعاون ناشط بين العديد من المؤلفين الذين ارتضوا الخضوع للعديد من المقترضات التي يوجها انجاز مثل هذا المؤلف الضخم وهو اول محاولة تركيبيّة لعلم القرن التاسع عشر يمثل هذه الضخامة . إلى هؤلاء المشاركين المخلصين ، وإلى كل الذين قدموا ، بشكل من الاشكال ، مساعدة ثمينة نقدم شكرنا الخالص .

عبقرية القرن التاسع عشر

عصر المعجائب والمفارقات . - لقد شاع في الرأي العام ، ولمدة طويلة ، الرأي العام المحافظ ، ان القرن التاسع عشر كان بحسب رأي لاسير Lassere الشائع ، قرن البلاهة . ذلك ان هذا القرن ليس له ذكر في تراث الحركات المتزنة فكرياً ولا في المشاعر التي نقلت الانسان الغربي عما كان عليه أيام ريشيليو Richelieu الى ما صار اليه في زمن بوانكاري Poincaré . لا شك اننا عندما نبحث عن أصول العديد من مؤسساتنا المعاصرة كما عن اختراعاتنا ، فاننا واجدوها في القرن التاسع عشر ، ولكن بعد الاكتشاف ان واضعي المؤسسات ومبدعي الاختراعات قد أخطأوا حول المستقبل المتوقع لما قاموا به . كان سان سيمون Saint - Simon واتباعه معجبين بالسكك الحديدية ، ويرونها تسير سيرها نحو السلم الدائم في حين انهم هم كانوا يسرعون نحو الحرب الشاملة . وقد ظن الفلاسفة والشعراء ان التقدم يؤدي الى حرية الفرد في حين انه ادى نحو التنظيم الشامل للبشرية . واستمر العلم بمجد نيوتن New-ton ويشهره في حين قضى عليه .

ما هو اذاً هذا القرن ؟ انه مركز حقبة تمتد وحدتها الظاهرة بين السنوات 1780 و 1920 . وهي حقبة تبدأ في اكبر الثورات الاوروبية التي اقترنت بحرب اوروية واكتملت بأولى الحروب العالمية ، وما رافقها من ثورة اجتماعية هي الأعرق . انها حقبة برزت فيها بكاملها جملة عجيبة من الاختراعات الثورية والمسيطرة حملتها عبر البحار الغربية ، بحسب التعبير « السفينة السكرى » من طرف من اطراف العالم الى الطرف الآخر .

هذا القرن التاسع عشر لم يكن عصر التراث . انه عصر الانفجارات . كل شيء فيه مبعثر ، والسلطة الملكية مقسومة بين الرؤوس المثة للبرلمانات ، والنظام الاقطاعي موزع بين تعددية المفامرات البرجوازية . وكان من الطبيعي الايمان بالفرد كعنصر اساسي ، وحتى وحيد للتقدم ، وبالحرية الضرورية لتفتح هذا الفرد . لقد آمن القرن التاسع عشر بالعبقریات .

قرن العبقریات . - في التراث الكلاسيكي ، كانت العبقرية⁽¹⁾ تعتبر شيطاناً صغيراً أو إلهاً صغيراً في غير مكانه الصحيح في الميثولوجيا القديمة ، كما انه غير معتبر في عالم الجن المسيحي . وفي اغلب

(1) للكلمتين عبقرية وجن نفس المرادف باللغة الفرنسية : Génie .

الأحيان تبدو العبقرية البفة ومفيدة أكثر مما هي ضارة . ولكنها قلما كانت تؤخذ على محمل الجد . اما في العصر الرومنطيقى من القرن التاسع عشر ، فالعبقرية هي رجل ، ورجل عظيم ، او احياناً ، نوع من تمجيد الاختراع الإلهي ، انها حاملة للمشعل امام البشرية التي تقاسي من آلامها وتفرح بانتصاراتها . تحب إعادة قراءة الصفحات التي خصصها فيكتور هيغو Victor Hugo لهذه الانتصارات والألام : سلسلة طويلة من الأنبياء والمخترعين والأبطال في السلم وفي الحرب . ولكن الجدول لا يبدو طويلاً في الماضي الا لانه معني بالتاريخ كله . وفي الواقع ، وحتى سنة 1815 كان عدد العباقره الذين يدعيهم كل قرن صغيراً ، وفي القرن التاسع عشر اصبح هذا العدد كبيراً. لقد تفتحت العبقرية في كل المجالات ، في الآداب والفنون والسياسة والتقنية والعلم. لقد عرف القرن التاسع عشر العبقرية بالتعريف الذي اتخذته لنفسه .

في القرن العشرين اصبح عدد المكتشفين والرجال المشهورين كبيراً الى درجة انه اصبح من العبث بالنسبة الى الرجل المتنور ، ان يطمع الى معرفة حتى اسماء العباقره : لقد ضاع العباقره في جمهورهم بالذات . واذاً لقد كان القرن التاسع عشر فريداً بذاته اذ كان العباقره فيه كثيرين ويمكن معرفتهم .

وهذا مرده الى منتهى فعالية العمل التوضيحي ، والصياغة ، والتعريف ، وهي امور قام بها واضعو الموسوعات. لقد مهدت الطريق كثيراً امام العمل اللاحق الى درجة ان الجمهور المعتاد على بطء الصور في القرون الماضية المكبل بالتحفظات الحاطة وبالتحديدات الوهمية ، أصبح يرى العبقرية في كل موهبة .

بين هذه الخصوبة التي بدت يومئذ جديدة كل الجدة وبين التبعض البركاني الذي سبق وأشرنا اليه ، بدت الروابط وثيقة : ان الفكر المبدع لا يمكن ان يجس لا داخل اطر مجتمع قديم ولا داخل اطار قارة واحدة ، إنه الايمان الأعمى بهذه الحقوق القوية جداً حقوق هذا الفكر الخلاق الذي برر الثورات ، وحسن تيول الحروب . ان الأموات الأبطال لم يضحوا تضحيات عالية جداً من أجل قوة الانسان الجديدة .

ولكن ما يصلح للقرن التاسع عشر بأكمله يصلح أيضاً للعلوم وللتقنيات التي ازدهرت فيه . ان التعاريف المهمة التي فرضت نفسها حوالي سنة 1800 بدت أكثر اهمية في مجال العلم أكثر مما هي في السياسة او في الفن .

سيادة الميكانيك وسيادة « الكمية » . . . بين غاليلى Galilée ونيوتن فرضت نفسها فكرة الكتلة أو « الكمية » (masse) ، ويعد لافوزيه Lavoisier ظل الميزان هو الايسر ، وأصبح أكثر المعدات دقة في الفيزياء . وقد سبق وأوحى بالعديد من التحليلات ، وفرض بعد ذلك « الكمية » la masse ، التي كانت تقاسي عموماً بالنسبة الى وزن ، باعتبارها العنصر الأكثر بساطة والاكثر يقيناً ، العنصر الذي بواسطته تعرف الحقيقة . وانطلاقاً من هذا المفهوم المركزي انتظمت المجالات الجديدة في الفيزياء وفي الكيمياء . ان البحث عن الكمية الأكثر صغراً ادى الى اعطاء كلمة ذرة العتقة تعريفاً يقاس غناه الجديد بالفعالية التي ابتناها منديلييف Mendéléev ، في حين اتاح الاسم الجديد اسم امير

Ampère، وضع الكهرباء الغامضة من ضمن الأشياء التي يمكن قياسها .

في الكيمياء كما في الكهرباء ، بدت المهمة مسهلة أمام بعض الرجال العظام ، بين (1800 و 1850 ، وقد تخلد هؤلاء عن طريق تسمية وحدات القياس بأسماء مخترعيها . لقد احاط فولتا Volta وامبيرغوس Gauss ، قبل ان يفتح فراادي Faraday السبل الجديدة امام الكهرباء المغناطيسية .

في هذه الاثناء ، من بريستي Priestley الى لافوازيه Lavoisier ، الى غاي - لوساك Gay - Lussac الى دالتون Dalton ، تحددت الأجسام البسيطة في الكون بأوزانها الذرية الذاتية . وحوالي 1850 تم اكتشاف حقل ضخم ، فقدمت وسائل قياس ذات دقة كبرى المعطيات التي تلائم الرياضيات في تقدمها المفرد سابقاً ، والمقرون الآن بالتطبيق الطبيعي والمسوق والمؤهل لتلبية المتقاضيات الجديدة في علوم الطبيعة .

وهكذا اتخذت كل الوحدات الجديدة اللازمة للمقاييس الدقيقة المعبر عنها بالوزن ، او بالكميات ذات المكنات القريبة جداً من مكنات الوزن ، مكانها ضمن مجموع أوهم الكثيرين بوجود اواليات . وقد احس العديد من العلماء بأن العلم قد كشف مكاناً وثوب العالم وأنه اكتشف الله .

ذهول الفلاسفة : - ومع ذلك يجب ان لا نجدعنا غرور بعض العلماء ، فعلى العموم كان الرجال الذين سلطوا ملاحظتهم على عمل ادواتهم أكثر مما سلطوها على فكرهم ، يمزأون من تبجححات الفلاسفة وخاصة هيجل Hegel ومن كانط Kant الى هيجل تحقق في حكمة الكون متعطف جدير بأن يحلل .

لقد عاش كانط في زمن ، لم يكن منذ ميروندول Mirandol ، من المستحيل على الاطلاق على رجل ذي فكر منفتح ومجتهد أن يأخذ فكرة عامة عن المعارف البشرية . واذا كان ديكايرت De- scartes قد بدا كني في العالم النيوتني ، فإن كانط هو بحق فيلسوف هذا العالم . فقد كان حساساً الى ما هو الأفضل في المخترعات التجريدية من القرن الثامن عشر ، فاستخرج منها منظراً عاماً فكرياً استطاع فكره النقدي ان يستبعد منه استبعاداً موقفاً نوعاً ما كل ما هو باطل بحيث شكل فعلاً مقدمات صالحة لكل ميتافيزياء مستقبلية .

وللأسف فإن الميتافيزيقيون الذين تبعوه بدلاً من تقليده في عمله ، والنظر الى العلوم ، اغرقوا انفسهم بانفسهم ، ونظروا في القدمات كنظرة النقاد فأهملوا الدخول الى المخترحات حيث تقدم العلوم ، وبعدها اقترحوا مقترحات تصلح كتأملات تتناول الجهد البشري الذي استبعد فيه القياس والوزن ، تأملات باطلة في نظر العلماء الذين تشكل الدقة عندهم الفعالية الحقة المحددة .

اسبقية التجربة على الاستنتاج - اذا لم توجد اتصالات بين الميتافيزياء في القرن التاسع عشر والعلم الذي يعاصره فذلك بسبب ان العلم ، في تلك الحقبة ، ينزع الى التفتل من كل نظرة شاملة . والأسباب ؟ التوسع المدهش ، منذ الثلث الثاني من القرن في مجالات العلم . توسع جغرافي أولاً . فمنذ القرن السادس عشر حتى القرن الثامن عشر كانت اوربوا العالمة هي اوربوا الغرب : لقد استمر التراث الايطالي في نجاحات سبق ان تباطلت . وبين فرنسا ومنطقة رينانيا تقدمت السبل الجميلة من

ديكارت الى ليبنز Leibniz ومن برنولي Bernoulli الى مويرتويس Maupertuis وإلى تلامذته دالامبير d'Alembert وانتصرت انكلترا بنجاح نيوتن newton وكان القرن التاسع عشر هو قرن اوربوا الشرقية . فاستيقظت عبقريتها مع الألماني غوس، واتسعت مع الروسي لوباتشفسكي Lobatchévski ثم عبر ريمان Riemann ، وفاد وايرستراس weierstrass الى انشتاين Einstein . هذا التوسع الجغرافي اقترن بازدهار متنوعات الرياضيات بحيث ادت الى التناقضات التي فصلت مثلاً بين المتخصصين اللذين هما كرونكر Kroneker وديديكين Dedekind والتي ألهمت بول Boole بجهد تناول ليس الحسابات فقط بل العمليات الذهنية التي تبررها . وأخيراً اعتبر توسع الرياضيات دليلاً على توسع الفيزياء والكيمياء .

بعد ذلك من مفهوم الحقل المغناطيسي بحثت المفاهيم النيوتنية في الفضاء . وإذا كانت الأفكار حول الجاذبية قد أثارت الإهتمام سريعاً ، فإن المسائل التي طرحتها دراسة السرعة الضوئية قد وسعت التناقضات التي فصلت بين مختلف أقسام الفيزياء . وتراجع التنظيم الوجودي بالفكر العلمي ، هذا التنظيم الجميل المنسجم من زمن أمثال لابلاس Laplace ولاغرانج Lagrange ليحل مكانه نزاع المدارس . وقد زال الفضاء الكانطي ، وهو الشرط الأساسي والشامل للحساسية : ان فضاء الفيزيائي تغيرت طبيعته بحسب ما اذا كان يدرس الكهرباء او السمعيات او الحرارة او الجاذبية . وبدت تحولات الكيمياء أكثر تعقيداً . لا شك ان الحرب من الميكانيك المبسط الذي كان سائداً في تفاؤل السنوات 1820 قد حصل . ومن جهة علق مفهوم القصور الحراري بعض افكار الكيميائيين بالقصور الذي عرفه الفيزيائيون . ومن جهة أخرى لم توح النجاحات في مجال الكيمياء العضوية بنجاح في المفاهيم الميكانيكية كما ان الأفكار المبسطة لم تكتشف الهوات التي افتتحت . ان يضطر باستور Pasteur ، بمناسبة اللاتساوقات البلورية ، الى ادخال الحياة واسرارها ، هذا ما يقضي على التطلعات السهلة التي استمدها برتيلو Berthelot من تركيباته .

ان كثرة هذه التناقضات تكفي ولا شك لتفسير ضياع الأفكار ذات الطموحات التركيبية ، ثم زوال الفلسفة كعلم شامل للفكر . وإذا كان في القرن الثامن عشر ، لقب فيلسوف يعطي الكيميائيين من قبل لاواريه ، والربايصين من قبل لجندي Legendre القيمة والاعتبار، فان هذا الأمر قد تغير مع نهاية القرن التاسع عشر . فالعالم لا يمكن ان يكون الا عالماً ، وهو يحرم على نفسه الميتافيزياء ، ولا يطمح الا بكل ما هو خاضع للتجربة . اما اولئك الذين يسعون بحكم المهنة أو بحكم العبقرية الى التلطف ، فانهم يفعلون ذلك خارج المختبرات .

وهذا لا يمنع علماء المختبرات من الخروج منها كما لا يمنع المفكرين من المجالات الأخرى من الدخول الى المختبرات . ولكن في الحالتين إن الحركة الوضعية هي السائدة . والحقيقة الوضعية التي هي حقبة أوغوست كونت Auguste Comte ، عقيبت عصر الميتافيزياء . وانه انطلاقاً من اعتبارات عملية جرت محاولات اما لربط وسائل (الإنتاج) واما لابتعاد طرق صالحة من اجل مجالات علمية جديدة ، سوسيولوجية ، أو خاصة ، سكونية مثل «النسوك» الاميريكية وفقاً لاسلوب وليم جيمس Wiliam James او الدراسة الروسية للاتعكسات المشروطة وفقاً لاسلوب بافلوف Pavlov .

نهاية سيادة الحس العام السليم - ايقظت هذه التناقضات التي اصطدمت بها العلوم والرياضيات في اواخر القرن التاسع عشر ، الفلق الذي عبر هنري بوانكاري عنه . ومع ذلك فقد سبق ان وضعت وعرضت وسائل التغلب عليها في العديد من الأعمال التي اولى بها الشاب البير انشتاين ولعاً فتح لعصر الحديث .

والموقف الفكري عد انشتاين اكثر اهمية في تاريخ الفكر من موقف ديكارت . لقد نظر ديكارت في الدقة الفاعلة للبراهين الرياضية ، وعرف أن هذه الدقة تؤثر في كل انسان بدون تحلف ، واستنتج من ذلك هذه الشمولية في الحكم الصائب الذي يتمسك به كل انسان ، وجعل « الأنا » الحاكم المطلق ، ومصدر كل حقيقة فقد برهن كانط (Kant) بمثل هذا . اما انشتاين ، فقد تحدى الحس السليم وزعم ان وحدة العلم يجب ان تقدم على التجارب الذاتية الداخلية « لأننا » . وإذا قليلة هي أهمية الدقة الرياضية في الميكانيك العقلائي : ان هي عجزت عن المحافظة على وحدة الفكر العلمي فذاك دليل على كذبا او على صحتها فقط في مجال ضيق .

ان « النسبية » سوف تقدم للرياضيات الجديدة الأولوية على الحسابات ، حسابات الانا المعروف ، أولوية الدروس المنبثقة عن الأشياء عن طريق العديد من البحوث الجديدة التي قدمها باحثون متعارضون - وسوف تثبت وحدة الواقع بدلاً من وحدة الفكر الذي يتفحصه .

وسنداً لذلك اوشكت المهمة الذاتية للقرن التاسع عشر ان تصل الى غايتها . وفي ما يخص الذرة زالت الفكرة بانها الشيء الذي لا ينقسم لتحل محلها فكرة وجوب تعظيمها ، في حين ان الكون المعقول ، لم يعد يكفي بأنه منسق مع ذاته اطلاقاً ، بل بالعكس يجب تعديد معاللة وظروفه بحيث يدمج الزمن في الفضاءات اللامتناهية التي لم تعد تؤوّل بأكثر من عبارات التطور .

الانسان ابن الحيوان : لم يتوجد فيلسوف في القرن التاسع عشر يعطي لفكرة الإله الحركة بهاءً شبيهاً بالبهاء الذي د - ه الديكارتيون للإله الازلي . وبالمقابل جند كل الفكر المحافظ قواه في الثلث الأخير من القرن لكي يقاوم فكرة تطويرية جديدة ، انطلقت لا من الفيزياء الرياضية التي كانت بعيدة جداً عن الجمهور ، بل من مجالات علمية ، بمناسبتها سوف يقوم « الحس الواعي » الديكارتي بمحركته الأخيرة ليتعرف على فشله الأخير : هذه المجالات هي علوم البيولوجيا .

وكان هناك اسمان وكتابتان اساسيان ، إنما مختلفان جداً . في الطرف البعيد الغربي من اوروبا ، قام الانكليزي دارون Darwin ، بعد أن ورث من عائلته ومن بيئته حب اشياء الطبيعة بتصنيف للملاحظات التي جمعها خلال الرحلات الطويلة التي قامت بها السفينة بيجل - ثم بعد أن قرأ مالتوس Malthus ، فهم الاصطفاء الطبيعي كمحرك اساسي لتطور الأنواع . وفي الحدود الشرقية من اوروبا الوسطى ، اكتشف مندل Mendel ، وهو يفرس بستان دير ، علم التوالد (علم الوراثة) . وتردد دارون ، حائفاً من اكتشاف شعر بانه سوف يهز الكثير من العقول ، ولاذ بمرض غريب هرباً من مسؤولية بمثل هذه الضخامة ، وانتهى اخيراً بنشر فرضياته التي كان آخرون يعدون انفسهم ليكونوا بطالها . ومات مندل بسلام ، مجهولاً دون ان يشك لحظة بأنه سوف يقدم بعد نصف قرن من الزمن ، الى البيولوجيا الوسائل التي تكمل جهد دارون ثم تتجاوزه .

وقد أصبحت معروفة المعاصف التي هزت الافكار في اوروبا ، عندما هبت رياح التطورية .
 وبدت الحجج المركزة على « الحس السليم » ، والتي ادلي بها ضد مفهوم جعل من الانسان حفيد
 الفرد . وبدت خطيرة الأحلام ، الألمانية بصورة خاصة، التي تقول بأن الانسان سوف يخلقه انسان
 متفوق شرط ان لا تتزاوج الاعراق الجيدة بالأعراق العاطلة . وتنازل امثال جان باروا Jean Barois
 المحتضرون ، سريعاً ، في فرنسا عشية الحروب التي قام بها الابناء المتورون لنيثشه Nietzsche ولمدة
 طويلة ، حتى نهاية سيادة اوروبا .

الانسان سيد الحياة : ولكن هذه المارك ، معارك فكر الانسان مع الحياة سوف تولد ايضاً
 علاجات فعالة . وقد سبق لمدارس فرنسية طبية، منذ بداية القرن التاسع عشر كمدرسة بينل Pinel
 ولانك Laennec ، ان رفضت رفضاً كاملاً كل أفانين الصيدلة القديمة، ثم قام كلود برنار Claude
 Bernard بالتجارب، وأخيراً ثور باستور Pasteur الطب، واعطوا جميعاً للانسان الغربي الأسلحة التي
 مكنته من قهر الموت في كثير من الأحيان ثم من تمديد متوسط عمر الجنس البشري، وفتح طرق صحية
 عبر الأدغال والمستنقعات والأحراج في أميركا وأفريقيا وآسيا وأوقيانيا - حيث قدم المكتشفون أمل الحياة
 بحثاً عن سر المناطق المجهولة وعن زراعتها الغريبة وأصبح علم أصل الانسان (انثروبولوجيا) الشكل
 الجديد للجغرافيا، وذلك بعد نصف قرن من الزمن بعد أن كان كيتلي Quetelet قد طوع علم
 الاحصاء . وهكذا أعطت أوروبا قبل أن تغرق في خدع الموت، من جراء حروبها، لبقية العالم وسائل
 معرفته .

القسم الأول

الرياضيات

ان وصف المراحل الرئيسية لتقدم الرياضيات في القرن التاسع عشر يبدو ، بوضوح اكبر من مجالات أخرى من مجالات العلم ، تحت مظاهر متنوعة ، تنوعاً يختلف بحسب الجهد في وضع هذا التطور في اطار عصره او بحسب الحكم عليه من منطلق العلم المعاصر . واذا كان من الطبيعي ان يعتمد الرياضيون الذين يبحثون عن أصول النظريات الاكثر حداثة هذا المفهوم الأخير ، فان مؤرخ العلوم يتوجب عليه ان يتابع مختلف تيارات الفكر وان يصف ويفسر الاهتمامات المتعددة ، والمختلفة عند علماء كل عصر .

ان القرن التاسع عشر الرياضي هو حلقة انتقال بين الحركة الموسوعية في القرن الثامن عشر ، والتخصص الضيق الذي هو عنوان عصرنا ، كما هو حقبة غموزاخم ، موسوم بتوسع وتنوع مستمرين في حقل البحوث . وفي حين سبقت اهتمامات الدقة والمنطق والتجريد التي برزت في العديد من الأعمال ، ولادة الرياضيات المصاغة بشكل معادلات ، رياضيات القرن العشرين ، عرفت فروع الهندسة ، المختلفة ، ازدهاراً باهراً سوف يتباطأ في اواخر القرن ، مع انهيار بعض الآمال الطموحة اكثر من اللازم ، الى الاستقلال . وقد عرف القرن التاسع عشر أيضاً ولادة وانتشار سريع في الفيزياء الرياضية التي ، وهي تستخدم موارد الاداة الرياضية ، قدمت مواضيع خصبة للدرس ووجهت ، من جراء هذا تطور بعض المجالات . ورغم تناقض هذين التيارين المتجهين احدهما نحو النظرية المجردة والاخر نحو تفسير الظواهر المحددة فانها تعاونتا لتقديم مجموع البناء الرياضي .

الشرط الجديدة للتقدم : يعتبر التطور الفخم لمختلف فروع العلم الرياضي في القرن التاسع عشر نتيجة مباشرة لتزايد عدد الباحثين ولاتساع متساق في عدد ما نشره ، وبرز هذا التزايد بشكل مستمر عبر القرن وفقاً لقانون ذي غط ذي دلالة اسية : اذ لوحظ ان المجموع السنوي للمنشورات قد تضاعف بين السنوات 1870 و 1909 .

ومن الأسباب التي تفسر هذه الظاهرة التوسع الجغرافي للثقافة الرياضية العليا التي ، بعد ان تحدد مكانها في بداية القرن في بعض بلدان اوروبا الغربية - ظهرت في آخر تلك الحقبة ضمن فضاء

اوسع بكثير ، ولكن العنصر الحاسم هو الازدهار السريع للبحوث الرياضية داخل البلدان الأكثر تطوراً ، وذلك تحت تأثير تزايد الديمقراطية اي تنامي التعليم العالي ثم تمهين نشاط الرياضيين .

هذا التطور بذاته يحكم بعض العوامل السياسية والاجتماعية والاقتصادية . ان اصلاح التعليم العالي العلمي والتقني ، المتحقق في فرنسا على يد الثورة اعطى للرياضيات مكانة اهم بكثير من الماضي في البرامج واوكل المناصب الرئيسية الى العلماء الاعظم ، مزوداً هؤلاء بوظيفة مهمة اجتماعية ومحرراً اياهم من الاهتمامات المادية الأكثر إلحاحاً زيادة على ذلك هذا الاصلاح وضع التعليم في الاتصال المباشر مع البحث ، وجعله مفتوحاً امام طبقات اوسع من المجتمع ، وبهذا ساعد هذا الاصلاح على ازدهار النبوغات الأكثر عدداً .

ومن فرنسا انتشر هذا التيار الى بلدان اوروبا الغربية الأخرى واقتترنت فيها مع تبلور الشعور القومي كعامل فخم في التقدم كما اقترن بازدهار حركة الآلة ازدهاراً ساعد البحث التطبيقي ، كما ساعد بصورة غير مباشرة في كمال الآلة الرياضية .

وقد اقترن توسع البحوث بانشاء عدد متزايد من المجلات المتخصصة ويظهر المجالات المرجعية الأولى وتأسيس الجمعيات الرياضية الإقليمية أو الوطنية مثل : لندن متمتكل سوسيتي London Mathematical Society (1865) والجمعية الرياضية في فرنسا Société Mathématique de France (1872) ، وايدنبورغ متمتكل سوسيتي Edinburgh Mathematical Society (1883) ، وسيركولو متمتكلو دي بالرمو Circolo matematico di Palermo (1884) ، واميركان ماتماتيكال سوسيتي . American Mathematical Society (1888) ، ودوتشي متمتكل فرينغن Deut - che Mathematische Vereinigung (1890) . وشاهدت المؤتمرات الدولية الأولى في الرياضيات (روريسخ ، 1897 ؛ وباريس ، 1900) مواجهات حامية . من ذلك أن هيلبرت قدم تقريراً الى مؤتمر 1900 ذكر فيه جدولاً بالبحوث الحديثة ، ولوحة واضحة جداً بالمسائل الأكثر أهمية والتي طرحت في القرن العشرين .

الوضع في مختلف البلدان : كانت فرنسا المركز الذي لا ينازع للرياضيات وبحوثها في بداية القرن ، وكان أهم نشاطها متمركزاً في باريس حيث قدمت مدرسة بوليتكنيك خلال عدة عقود ، مجموعة من الرياضيين ومن الفيزيائيين الرياضيين ذوي القيمة وأدى تأسيس كليات العلوم وانشاء المدرسة العليا للمعلمين الخ . حوالي 1840 الى انتهاء احتكار مدرسة بوليتكنيك مع المحافظة على الدور المميز للعاصمة . ان الشهرة الرياضية لباريس جذبت نحوها في الثلث الأول من القرن العديد من الطلاب والباحثين الأجانب الراغبين في الاطلاع على اكثر مظاهر البحث جدّة وعلى الرغم من ان جهات الجامعات الألمانية قد جذبت فيما بعد قسماً مهماً من هذه النخب المختارة فقد ظلت باريس طيلة القرن واحدة من اوائل مراكز التعليم الرياضية . وقد ساهم نشر الكتب ذات القيمة العلمية ، في العديد من البلدان ، ايضاً في المحافظة على شهرة التعليم الفرنسي . وبالمقابل ظهرت مجلات متخصصة مهمة الى الوجود : مثل مجلة مدرسة بوليتكنيك (1795) ، حوليات الرياضيات في جرجون (1811 - 1832) مجلة الرياضيات الخالصة والتطبيقية في ليوفيل (1837) ، الخ . في حين امتنت التقارير الصادرة عن اكااديمية العلوم ، المؤسسة سنة 1835 الانتشار شبه الأني للتأثير الجديدة .

كانت المدرسة الألمانية محكومة طيلة نصف قرن من الزمن بشخصية « غوس » المهمة وكان هذا يعيش في شبه عزلة في غوتنجن . وانطلقت المدرسة الرياضية الألمانية بين السنتين 1820 و 1830 وحقت نمواً باهراً اتاح لها الوصول الى الدرجة الاولى من التقدم في العديد من المجالات ، حتى تجاوزت المدرسة الألمانية بعدد مراكزها الناشطة ومعلميها ونشرتها ، المدرسة الفرنسية . وكان هذا الازدهار مرتبطاً في الانطلاقة ،بالاصلاح في التعليم الجامعي وبالأثر الفعال الذي أحدثه قانون هيبولت A. von Humboldt ، وتمتّن بإنشاء الاجتماعات الاسبوعية والمجموعات الصغرى العاملة تحت اشراف اساتذة .

وكانت المراكز الأكثر نشاطاً والأكثر اعتباراً هي : غوتنجن وتميزت بطول اقامة غوس فيها ، وفي اواخر القرن بوجود هيلبرت Hilbert ، وبرلين Berlin ، حيث شكل وايرستراس Weierstrass مجموعة تلامذة عظام ، ثم مركز كونيسبرغ ، والذي اشتهر بتعليم جاكوبي Jacobi وبمدرسة شهيرة في الفيزياء الرياضية ، ثم بريسلو Breslau ، وبون Bonn وارلنجن Erlangen وهال Halle الخ . . وثبت تأسيس مجلة « für die reine und angewandte Mathematik » في كريل ، منافسة « حوليات » جيرغون Gergonne ثم مجلة ليوفيل Liouville ، بشكل جيد اعتبار المدرسة الألمانية .

وظلت المدرسة البريطانية بمعزل عن الحركة الرياضية الأوروبية منذ منتصف القرن الثامن عشر ، كما ظلت جامدة امينة لحد العبودية للتراث النيوتني ، ثم تحررت من عواقبها في العقود الأولى من القرن التاسع عشر بفضل تحديث مناهج التعليم وبشكل خاص ادخال العلامات الكسرية اللامتناهية التي اعتمدها لينتز Leibniz . وظهرت نتائج مشوقة ابتداءً من الجيل التالي . ولعبت المدرسة البريطانية دوراً مهماً بشكل خاص في نمو الفيزياء الرياضية ، وفي تأسيس المنطق الرياضي والجبر المستقيم والهندسة الجبرية وفي ولادة البيومتريا الحديثة .

وكان تقديم ايطاليا متواضعاً بخلاف النصف الأول من القرن ثم نما بعد ذلك بسرعة وقامت مدرسة شهيرة تشارك بحيوه في صراع النهضة (ريزرجيمينتو) ثم في اعادة التنظيم العلمي في ايطاليا الموحدة ، وقامت هذه المدرسة بعمل مهم وأصيل في الهندسة الجبرية والهندسة التفاضلية . واقترن هذا التيار الذي امتد حتى القرن العشرين تيار آخر متوجه نحو الدراسة المنطقية لمبادئ الرياضيات . ورغم الوحدة السياسية ، احتفظت عابية المراكز القديمة او عاودت نشاطها في حين اضيفت الى المجموعات الاكاديمية مجالات مهمة متخصصة .

في هذا الوقت لم تنتج سويسرا وبلجيكا والبلدان المنخفضة ، وهي بلدان ذات ماضٍ غني ، الا بعض الرياضيين من المرتبة الأولى مثل ل . شلفلي L. Schlafli . وج .شتاينر J. Steiner . وا . كيپلي A. Quetelet ، ودخلت اقاليم اخرى في مجال الرياضيات الحديثة . ذلك هو حال اسكتلندا وروسيا اللتين اشتهرت مدارسها الرياضية منذ ولادتها بعقريات : ن . هـ . آبل N.H. Abel ، ون . ي . لوباتشفسكي ، N.I. Lobatchevski ، واذا ظلت اوروبا الوسطى والدانوبية بمعزل عن التقدم ، فهناك استثناءان يستحقان الذكر ، اولهما الهنغاري ، ج . بولي J. Bolyai ، منافس لوباتشفسكي وثانيهما التشيكي ب . بولزانو B. Bolzano ، بمجد التحليل .

وبمخلال القرن التاسع عشر ، لم تشترك بقية المناطق عملياً بالنهضة الرياضية ، باستثناء الولايات المتحدة الاميركية ، التي ، كانت قليلة الاهتمام في البداية بالعلوم النظرية ثم تدخلت بشكل واسع في النصف الثاني من القرن ، معلنة عن روعة نهضة الرياضيات الاميركية في القرن العشرين .

الفصل الأول

الجبر والهندسة (الجيو متريا)

I - تجدد الجبر

1 - نظرية المعادلات ونظرية المجموعات .

القاعدة الاساسية : في مجال الجبر ، كما في العديد من القطاعات الأخرى في الرياضيات ، طبعت الشخصية القوية التي تميز بها س . ف . غوس . G . F . Gauss (1777 - 1855) بطابعها الخط الدقيق ، خط التقدم . ومنذ اطروحته (هلمستاد ، Helmstadt 1799) اعطى غوس اول دليل دقيق على « قاعدة الجبر الاساسية » . التي صيغت مسند 1629 ، من قبل جيرار Girard ، واثبت بشكل غير كامل من قبل دالامبير d'Alembert ثم من قبل اولر Euler (يراجع المجلد الثاني الفصل 1 ، الكتب 1 ، القسم 3) . وعاد فيها بعد إلى هذه القاعدة ونشر عنها عدة تبينات ذات مناح متنوعة .

المعاملات من الدرجة الأعلى من أربعة : ولكن في فجر القرن التاسع عشر بقيت مسألة الجبر الاساسية هي مسألة حل المعادلات من الدرجة فوق أربعة ، والتي وجهتها اعمال لاغرانج ، وفاندرموند (يراجع المجلد 2 ، الفصل 1 - الكتاب 1 - القسم 3) في اتجاه بدا خصباً ، هذا الاتجاه الذي هو اتجاه نظرية الزمر ونظرية الاجسام ، كان في بدايته ، ولم يحصل حل هذه المسألة المعضلة الا عندما اصبحت هذه القواعد راسخة بما فيه الكفاية . وانه في هذا المنظور يدخل الجواب الذي قدمه غوس انظر لاحقاً مسألة حل المعادلة $(x^n - 1 = 0)$ (وفيها يكون n عدداً أول مفرداً) جواب يدل عل وعي مسبق واضح لنظرية المجموعات الدورية . وانه في هذا الاتجاه ايضاً سار الايطالي بولوروفيني Paolo Ruffini (1765 ، - 1822) الذي حاول أن يثبت (عن طريق وضع المبادئ الاولى لنظرية الزمر (التبديلات) وعن طريق دراسة سلوك الاسات الجذرية للجذور ، عند نقل او تحويل هذه الجذور) استحالة حل المعادلة العامة من الدرجة الخامسة .

وبعد توجيه النقد الى محاولته الاولى للتبين (النظرية العامة للمعادلات ، بولونيا 1799) ادخل روفيني عليها جملة من التعديلات الاستكمالية - ورغم ان القاعدة كانت صحيحة في مبدئها ، الا ان

محاولته الأخيرة (إعادة نظر في حل المعادلة الجبرية العامة ، مودين 1813) كانت تفتقر أيضاً إلى الدقة اللازمة للحصول على التأييد العام . وكان كوشي Cauchy الذي قدم ، في تلك المرحلة (1815) مساهمة مهمة في نظرية الزمر الناشئة ، أحد الرياضيين المعاصرين القلائل الذين قدروا القيمة الأكيدة لعمل روفيني .

وعاود الرياضي الشاب النرويجي نيلس هنريك آبل Niels Henrik Abel (1802 - 1829) بدوره دراسة هذا الموضوع . وبعد أن ظن أنه عثر على صيغة حل عن طريق علامات الجذور (راديكو) للمعادلة العامة من الدرجة الخامسة ، أثبت (1824 ، 1826) استحالتها عن طريق التحليل العقلي الأكثر دقة من تحليل روفيني . ووجهة النظر الجبرية التي اعتمدها فيها بعد ، في دراسة الدالات الاهليلجية أو البيضاوية⁽¹⁾ قادته إلى اكتشاف مختلف أنماط المعادلات القابلة للحل عن طريق اشارات الجذور - ومنها معادلات آبل الشهيرة - ثم للبحث عن معايير تميز مثل هذه المعادلات - وادى الموت المبكر لأبل Abel إلى قطع هذا العمل في الوقت الذي باشر معالجة هذه المسألة تابعة جديد شاب هو الفرنسي غالوا Galois .

غالوا ونظرية الزمر : مات إيفاريسيت غالوا Evariste Galois (1811 - 1832) وهو دون الواحدة والعشرين على أثر مبارزة . ورغم أن نشاطه الإبداعي قد تعطل نتيجة مشاركته في الاضطرابات السياسية ، وبسبب المصائب الصعبة التي حلت به ، وسوء الفهم الذي لقيه لدى العلماء النافذين ، فقد بدأ واحداً من أكثر العلماء الرياضيين أصالة في عصره . فعدا عن مذكرة موجزة قدم بها « الأعداد التخيلية عند غالوا »⁽²⁾ ، فإن جوهر عمله يكمن في رسالة كتبها « حول شروط حل المعادلات بواسطة دالات الجذور » التي قدمها أمام أكاديمية العلوم في باريس سنة 1831 . وكان غالوا متيقناً من صوابية مفاهيمه ولكن صدم بالقرير المعاكس الذي وضعه بواسون Poisson . وسجن بعد ذلك بقليل نتيجة نشاطاته السياسية . وبعدها لم يجر إية رسالة أخرى . وفي الليلة التي سبقت المبارزة المحزنة ، جمع في كتاب أرسله إلى أحد أصدقائه الأفكار الرئيسية التي لم يستطع أن يوسعها .

« سوف تطلب علناً من جاكوبي Jacobi أو من غوس أن يبدوا آراءهما ، لا على صحة القواعد بل حول أهميتها ، هذا ما طلبه غالوا ، وبعد هذا سوف يكون هناك أشخاص يجربون مصلحتهم في حل كل هذه الرموز . اعانقك بحرارة . »

إن أهمية هذه المفاهيم التي جمعت بسرعة ضمن هذه الوصية المؤثرة العلمية تدل على أن غالوا ، لو طال عمره لكان أثر تأثيراً حسناً في العديد من مجالات الرياضيات . ومهما يكن من أمر أن أفكاره التي تم إنجازها لم تعرف إلا عندما قام ليوفيل Liouville سنة 1946 ، أي بعد 14 سنة من موت غالوا ، بنشر مجمل عمله⁽³⁾ .

(1) (2) راجع بهذا الشأن دراسة ج . إيتار في الفصل القادم .

(3) نشر - نثري سنة 1908 عدة مقاطع مهمة أهمها ليوفيل . إن هذه النصوص وكذلك الرسالة التي ذكرت أعلاه تدل على أن غالوا قد اهتم بالتكاملات في الدالات الجبرية لتغير ، ضمن منظور قريب نوعاً ما من المنظور الذي اتبعه ريمان فيها بعد .

ان المسألة الاساسية التي عاجلها غالوا هي مسألة حل المعادلات التي وسعها بشكل اعم عن سبقه ومنهم لاغرانج Lagrange وروفييني Ruffini وآبل Abel . وفي أساس نظريته نجد المعلومات عن الاجسام (وهذه نظرية رسمها غوس سنة 1801) الاستلحاقية وعن متعدد الحدود غير القابل للاختزال حول جسم معين (وهي فكرة سنرا استعمالها آبل ، والتي سوف يطورها ريمان Riemann وديديكين Dedekind ، ونجد فيها ايضاً المبادئ كما نحد الخصائص المهمة لنظرية المجموعات الاستبدالية التي بدا غالوا وكأنه المؤسس الحقيقي لها .

ومن اجل معالجة مسألة حل المعادلات الجبرية بين غالوا انه بالامكان جمع زمرة من الاستبدالات الى كل معادلة من هذا النوع ، بحيث تتناول الاستبدالات مجمل جذورها ، زمرة تعكس في داخلها بعض الخصائص الاساسية للمعادلة . ورفض غالوا استخلاص الحالات مباشرة من المعادلة المعطاة ، انطلاقاً من هذه المعادلة ، ففكك من اجل هذه الغاية ترتيب الزمرة المقترنة بسلسلة من العناصر (سلسلة من تركيب الزمرة) ، وتكون هذه السلسلة قد حصل عليها سناً لقواعد متعلقة بهيكليّة هذه الزمرة . ان قابلية الحل في المعادلة المعطاة والتي تستخلص من امكانية الحصول على سلسلة من الحالات الثنائية الحدود ، تتطابق عندها مع الحالة التي تكون فيها سلسلة تكون الزمرة مؤلفة من عناصر اولى .

ان استحالة الحل عن طريق دالات الجذور في المعادلة « العامة » من الدرجة الاعلى من اربعة تنتج عن ان سلسلة تركيب الزمرة المقارنة تتضمن دائماً عنصراً ليس أول . .

تقدم نظرية الزمر: ان نظرية الزمر، وهي مفتاح نظرية المعادلات تظهر قوتها التفسيرية، التكوينية والتوحيدية، في معظم القطاعات الأخرى من الرياضيات، كاشفة عن ماهية الاواليات العملية وقوانين الدمج، هذه الماهية المغطاة تحت تنوع المثلثات، واللفعة، وموضحة بالتدريج فكرة البنية المجردة التي تلعب دوراً مهماً في الرياضيات الحديثة. لقد اهتم غالوا Galois بشكل خاص بالزمر الاستبدالية، وتكونت لديه فكرة واضحة نوعاً ما عن القاعدة العامة للزمر. هذه النظرية تكمن ايضاً ضمن بعض المسائل المتعلقة بنظرية الاعداد التي عاجلها « غوس » Gauss كما تكمن ايضاً في دراسة التحولات الجيومترية الناشطة في الربع الثاني من القرن التاسع عشر.

وعند نشر كتابات غالوا كان كوشي Cauchy قد عاد الى دراسة الزمر التجريدية ذات النظام المنتهي (1844). وبعد ذلك بقليل قام بيتي Betti في ايطاليا وكيلي Cayley في انكلترا، وج. سيريه J. A. Serret، وجوردن Jordan في فرنسا، وسيلو Sylow في النرويج وكرونكر Kronecker وديديكين Dedekind في المانيا بمهمة نشر عمل غالوا بعد توضيح بعض التحليلات وتدقيقها او النظر في التطبيقات العملية لنظرية الزمر على نظرية المعادلات او في مختلف مجالات الرياضيات. وبناء عليه طبق كيلى نظرية الزمر المجردة على الرباعيات (كواترنيون، 1854) كما ان هاملتن Hamilton (1856) درس زمر المتقابلات في المتعدد الأوجه المنتظم .

ولكن افكار غالوا لم تقدر حق قدرها الا بعد نشر « كتاب الاستبدالات » لكاميل جوردان

Camille Jordan (1838 - 1922) ، كما ان نظرية الزمر لم تدخل بشكل مستمر التوسع في المجالات الاكثر تنوعاً في الرياضيات : جيومتريا ، نظرية المعادلات التفاضلية او المشتقات الجزئية الخ . الا بعد نشر هذا الكتاب ايضاً ، وقد بين فيليكس كلين Felix Klein ، وسوفوس لى Sophus Lie ، اللذان اتبعما سنة 1870 تعليم جوردان Jordan الدور العظيم الحاصل في مختلف فروع الهندسة ، بفضل الزمر المتفرقة ، وبفضل الزمر المتتالية ، وكلها عناصر خصبة في التفسير وفي التوحيد بحيث تسمح بتوضيح البنية العميقة للبناء الجيومتري ويربط النظريات المختلفة الأصول . وفي الجبر ، وبفضل كرونكر Kronecker ووير Weber وفروبنويس Frobenius ، الخ . ارتبط هذا التوجه في الدراسات بشكل طبيعي جداً بالجهود المتلاحقة التي هيأت لولادة الجبر الحديث .

وعلى هذا تلقت نظرية المعادلة العامة من الدرجة الخامسة تحسينات مهمة . فقد بين برنغ Bring (1786) ، وجرارد Jerrard (1832 - 1835) كيف تكون العودة بمثل هذه المعادلة الى شكل مختصر ثلاثي الحدود وفقاً لمنهج سوف يحسن فيما بعد من قبل هاميلتون Hamilton ومن قبل سلفستر Sylvester . وفي سنة 1858 بين هرميت Hermite ، ثم كرونكر Kronecker وبريوشي Briochi بأن حل هذه المعادلات يمكن ان يفسر بواسطة الدالات القياسية . ويكثر من الاناقة ، بين كلين ووضع الروابط الوثيقة التي تجمع دراسة هذه الدالات ، كما وضع نظرية المعادلة من الدرجة الخامسة ونظرية زمر التماثل او التناظر في المنتظم العشري الوجه (كتاب : vorlesungen uber das ikosaeder und die Auflosung der Gleichungen Grades ليبنغ ، 1884) .

طرق الحل المتقارب في المعادلات : ان المسائل المتعلقة بالحل الفعلي للمعادلات العددية كانت ايضاً موضوع العديد من الاعمال .

في حين حسن موراي طريقة الحل المتقارب التي وضعها نيوتون - رافسون Newton - Raphson قام فوزيه ، وج . داندلان ، ورفيني (1804) ، ووج . هورنر بتطوير طريقة سبق استعمالها في الصين في القرن الثامن عشر ، عرفت تحت اسم « طريقة هورنر » نجاحاً قوياً في انكلترا وفي الولايات المتحدة . ونذكر ايضاً الاسلوب المدروس من قبل ي . ورنغ E . Waring . داندلان Dandelin والذي نفذه س . هـ غراف C.H. Graffe (1837) والذي اتاح بواسطة استعمال السلاسل المتكررة ، احتساب كل الجذور الحقيقية والمعدلة الموجودة في مطلق معادلة ، احتساباً تقاربياً . وقد استكمل وعمم حل المعادلات العددية بمساعدة سلاسل ، شغلت الرياضيين في القرن الثامن عشر ، وذلك من قبل المؤلفين المختلفين ، من جاكوبي Jacobi (1930) الى ي . مسك كلنتوك E . Mc Clintock (1895) ، في حين ان غوس Gauß وبلافييتس Bellavitis ور . ميمك M . Mehmke استفادوا من المكاسب التي حققتها تقنية اللوغاريثم .

واستكمل توطير اخدور الحقيقية لمعادلة رقمية ، هذا التوطين الذي اطلقه ديكرارت (1637) من قبل فوريه Fourier (1796 او 1820) ثم من قبل ستورم Sturm الذي اوضح ، ضمن قاعدة مشهورة

(1829) العدد الصحيح للجذور الحقيقية المحتواة ضمن حدين محددين. في حالة الجذور المعقدة أعلن كوشي سنة 1831 عن قاعدة سرعان ما أصبحت كلاسيكية تتعلق بعدد الجذور الحقيقية أو المعتمدة الموجودة داخل محيط مغلق .

2 - بدايات الجبر المستقيم او الخطي . انواع الجبر

ان احدى مميزات تطور الجبر في القرن التاسع عشر هي الاهمية المتزايدة المعطاة لمسألة دراسة المسائل المستقيمة او الخطية . هذا التيار قد برز من خلال الأعمال العديدة المخصصة للمحددات ، ثم بواسطة ادخال المصفوفات ، ودراسة الاشكال الجبرية واللامتغيرات ، وبنظرية الرباعيات والاعداد البالغة التعقيد ، وأخيراً بواسطة فهم انماط جديدة للجبر . وعلى نفس الخط تحقق توسع في مجال هذا الجبر المستقيم ، الذي حبس في بادئ الأمر ضمن دراسة أنظمة المعادلات الجبرية من الدرجة الأولى ثم توسع بصورة تدريجية فشمل انماطاً واسعة من المعادلات التفاضلية والمشتقات الجزئية ، مظهراً بأن واحد ، وفي مجال الهندسة خصوصية أكيدة وقدرة تفسيرية قوية .

نظرية المحددات : ان دراسة المحددات التي اطلقت في القرن الثامن عشر ، دون ان تفسر الالفوريتم بشكل واضح ، عرفت نمواً واسعاً في القرن التاسع عشر .

فقد ادخل هـ . رونسكي H.Wronski عدة محددات خاصة درس احدها من قبل ليوفيل Liouville وحمل اسم «المحدد الرونسكي» . وقد اوضح كل من ج.ب. بينيه (1813) وكوشي ، الذي ادخل كلمة «محدد» بمعناها الحديث ، وجاكوبي Jacobi الذي نشر العديد من الأعمال الاصلية ، ودراسات مميزة تأليفية (1841) ، جميعهم اوضحوا المبادئ التي تحكم النظرية العامة للمحددات وساهموا في انتشار هذه الالفوريتمية . في حين ان هس Hesse طبق المحددات على نظرية الاستبعاد الجبري وعلى دراسة المنحنيات من الدرجة الثالثة . وطور كييلي Cayley ، الذي ادخل الترميز الحديث ، وسلفستر Sylvester ، نظريتهما ، ووسعا حقول التطبيقات ، وساعد ادخال المصفوفات matrices ونظرية الأمتغيرات على دراسة الخصائص العامة للمحددات ، ونشر العديد من الأعمال الخاصة . وهذا النمو قد برز من خلال نشر العديد من الكتب في النصف الثاني من القرن خصصت لخصائص المحددات ولتطبيقاتها في الجبر الكلاسيكي وفي الجيومتريا وفي التحليل .

المصفوفات والحساب المصفوفي - تعتبر المصفوفات ، وهي توسيع لمفهوم المحدد ، انها ظهرت في الدراسات المتعلقة بتكوين التحولات الموهورافية التي حققها «آرثر كييلي» (1821 - 1895) ابتداءً من سنة 1843 . وفي سنة 1853 ادخلها «هاملتون» بشكل أكثر وضوحاً في كتابه «محاضرات حول الرباعيات» ، في حين ان الحساب الجيومتري لفراسمن Grassmann ونظرية التكايفات ، قد استعملت أيضاً هذا المفهوم بشكل متفاوت الوضوح . وفي سنة 1858 فقط اوضح كييلي التعريف والخصائص الاساسية للمصفوفات . وبعدها اصبح فوز هذا الالفوريتم الحديد والحساب المقرون به ناجحاً بشكل سريع ، في المدرسة الانكليزية اولا بواسطة كليفورد Clifford وسلفستر ، ثم في امريكا حيث استخدمه بنجامين بيرس Benjamin Peirce في نظريته حول الجبر المستقيم القابل للتشارك . وفي

القرن العشرين ازدادت أهمية هذا الحساب المصفوفي وذلك بفضل تهييج الجبر المستقيم وتوسيع مجال العلم .

دراسة الأشكال ونظرية اللا متغيرات : لقد ارتدت دراسة الأشكال أو الدالات المنسجمة المكونة من عدة متغيرات مستقلة ، غمواً كبيراً في النصف الأول من القرن التاسع عشر ، وبالاتصال والتناسق مع غموا الجيومترية التحليلية ، وبشكل اخص مع استعمال الاحداثيات (خطوط) منسجمة .

في نظام الاحداثيات هذا ترد معادلة المنحني المستقيم او معادلة السطح ، هنا ، الى الغاء الشكل الازدواجي او الثلاثي (ذي المتغيرين او ثلاثة مغيرات ، المستقلة) وكذلك فان التغيرات في الاحداثيات تساوي استبدالات . اما دراسة خصائص الرسوم فتعادل من حيث التحليل دراسة خصائص الاشكال ، ومن جراء هذا تؤدي الدراسة الى اختزالها لتصبح شكلاً قانونياً أي معادلة عمومية ، وإلى البحث عن لا متغيراتها وعن متغيراتها المتناسبة اي عن مختلف الدالات في اساتها الباقية غير مستنفذة بتأثير بعض التحولات .

ان مفهوم اللا تغير كامن في العديد المتنوع من اعمال لاغرنج وغوس وكوشي وجاكوبي وايزنشتاين Eisenstein ، ولكن المفهوم بذاته لا يبدو انه قد توضح الا في سنة 1841 على يد بول Boole ، وقد تبع هذا المثل من قبل ممثلين اعظمين للمدرسة الجبرية البريطانية ، كيلي وج. سيلفستر J.J. Sylvester (1814 - 1897) اللذين قاما ، في حوالي 1845 بسلسلة رائعة من الأعمال حول نظرية الاشكال (كانيك) ونظرية اللا متغيرات . وقد كانا يتبادلان الأفكار ويتفانسان في الجهود ، فجمعما في عدة سنوات كمية مهمة من النتائج ووجدوا المعجمية والمبادئ الأساسية للنظريات الجديدة .

وقد عملت نظرية الاشكال الجبرية ونظرية اللا متغيرات التي لاقت نشاطاً مخصباً في الدراسة التحليلية للخصائص الاسقاطية التي ترتديها المنحنيات والسطوح الجبرية ، على التأثير تأثيراً حسناً في هذا المجال من البحوث فقدمت بأن واحد نهجاً مريحاً من أجل الصيغة ، وطريقة تحليلية في الاكتشاف . وبعد 1844 ، استخدم هس Hesse الاحداثيات المنسجمة والتزقيعات المختصرة ونظرية المحددات في دراسة المنحنيات من الدرجة الثالثة . وبهذه المناسبة ادخل محمداً هو الهيسي (نسبة الى اسمه) الذي لعب دوراً مهماً جداً .

وفي سنة 1858 بين آرونهولد Aronhold ، العلاقات الوثيقة التي تجمع بين اعمال هس ونظرية اللا متغيرات وادخل ترقياً جديداً . في هذه الاثناء شرعت المدرسة الانكليزية في استخدام هذه النظرية في الجيومترية التحليلية ، مبنية أهمية بعض المنحنيات مثل القطيعات ، ومنحنيات هس وشتاينر Steiner وكيلي Cayley . وساعدت كتب جورج سالون George Salmon (القطع المخروطي ، 1848 ، والمنحنيات المسطحة ، 1852 ، والجبر الحديث العالي ، 1859 ، والجيومترية التحليلية ذات الابعاد الثلاثة ، 1862) وكلها قد اعيد طبعها عدة مرات وترجمت الى الألمانية والفرنسية السخ . هذه الكتب ساعدت على انتشار النظريات الجديدة وتطبيقاتها الجيومترية .

وقدم أرونهولد Aronhold في سنة 1863 رسالة تأليفية بواسطة ترقيمه الذي انتشر استخدامه بشكل واسع . ونجح كليش Clebsch تطبيق نظرية اللا متغيرات في الجيومترية الاسقاطية وانشأ في سنة 1868 مجلة اسمها الخواص الرياضية خصصها لدراسة المناهج الجديدة في الجبر الجيومترى . وفي سنة 1868 - 1869 بين غوردان Gordan ان كل اللا متغيرات والمتغيرات المتوافقة المحذرة ذات الشكل الثاني يمكن ان يعبر عنها بدالة جذرية لعدد متناه (قاعدة غوردان) . وقام رياضيون عديدون من الألمان بتحسين هذه النظرية ، ويشكل خاص كرونكر Kronecker وكريستوفل Christoffel ، وكلين Klein ، وستودي Study وفوك Fuchs .

وفي فرنسا اتبع هذا النهج الجديد من قبل جوردان Jordan ومن قبل هارميت Hermite . وقدم هذا الأخير العديد من النتائج الجديدة القريبة جداً من نظرية الاشكال الرباعية والاشكال الثنائية ذات الارتباط بنظرية الاعداد وبالجبر ، وكذلك بنظرية اللا متغيرات .

وفي ايطاليا نشر بريوشي هذه النظرية وعاد الى دراسة اللا متغيرات التفاضلية ، التي سبق ودرست من قبل جاكوبي ، ومن قبل ش. نيومان C. Neumann . وتحت تأثير نظرية الاشكال التفاضلية التي وضعها ريمان طورت هذه الدراسة الأخيرة بشكل واسع (انظر لاحقاً) . وظهرت الاشكال واللا متغيرات فائدتها أيضاً في بعض مجالات نظرية الاعداد ، وكذلك في دراسة المعادلات التفاضلية ، والمعادلات ذات المشتقات الجزئية . وعلاقتها بنظرية الزمر وضعت موضع التثبيت من قبل العديد من المؤلفين ومنهم لي Lie وخاصة كلين Klein . الا ان هذه الاشغال حدثت في اتجاهات متفرقة ، وبواسطة الطرق الأكثر تنوعاً ، بحيث جعلت من نظرية اللا متغيرات بناءً معقداً حيث عطيت الافكار العامة بالعديد من النتائج التفصيلية الحاصلة بفضل حسابات دقيقة في أغلب الأحيان . وفي سنة 1890 ، نجح هيلبرت ، في احد اعماله الأولى ، في استخراج القوانين الاساسية لهذه النظرية ، بشكل موجز جداً واثيق ، ساحياً بشكل خاص قاعدة غوردان على الاشكال الجبرية ذات المتغيرات المتعددة . ووضعت هذه المذكرة المهمة ، وبذات الوقت ، اسس نظرية المثل ذات الحدود المتعددة ، والتي لعبت دوراً مهماً في الجيومترية الجبرية وفي الجبر الحديث .

الرباعيات والاعداد الفائقة التعقيد : وبعد نشر عدة اعمال اساسية حول مبادئ البصرية الجيومترية وحول الديناميك ، اتجه و. ر. هاملتن W. R. Hamilton (1805 - 1865) نحو دراسة الجبر ، فنشر سنة 1835 نظرية صارمة حول الاعداد المركبة كآزواج من اعداد حقيقية ، وجهد في توسيع هذه الفكرة ، فانتهى سنة 1843 الى نظرية الرباعيات التي وسعها في محاضراته حول الرباعيات (1853) وفي كتابه عناصر الرباعيات (1866) . وتقوم الرباعيات على توسيع الحساب المتعلق بالاعداد المركبة بحيث تشمل فضاء التمثيل المسطح ، وبحيث تعطي الرباعيات ، بأن واحد ، اول مثل عن جبر غير تعاوضي وغير تباهلي ، كما تعطي هذه الرباعيات ، ترقياً او تصوراً جبرياً لنظرية المتجهات . وطور هاملتن هذه تقاضلية حول الرباعيات وطبقها على السينيماتيك او علم الحركة وعلى الديناميك وعلم الفلك ولكن امله الكثير الطموح بأن يجعل من هذه النظرية التفاضلية نوعاً من علم الحساب الشامل حل بعض تلامذته ومنهم ب. ج. تيت P. G. Tait . على تأسيس جمعية من أجل

نشر الرباعيات وإلى القيام بنضال عنيف وعقيم ضد الطرق الأخرى في التحليل الاتجاهي والتي تكونت بذات الوقت .

وادخل و.ك. كليفورد W . K . Clifford (1845 - 1879) وهو يعمم فكرة من افكار هاملتون في سنة 1878 غمطاً آخر من الاعداد الشديدة التعقيد هي الرباعيات المزدوجة فأوضح قواعد حسابها وتنبأ بالعديد من تطبيقاتها وخاصة في الجيومتريا غير الاقليدية .

انواع الجبر : هذا الامتداد المتالي لفكرة العدد اقترن بتوسيع في مفهوم الجبر اي في الدراسة . التجريدية لقوانين التركيب المحكمة بهذه العناصر الجديدة . ان الفكرة العامة لقانون التركيب قد تشكلت انطلاقاً من أعمال غوس حول بعض الأشكال الرباعية ، ومن نظرية المجموعات الاستبدالية ، ومن أعمال المدرسة الانكليزية حول الجبر المجرد وحول المنطق الرمزي ، والاكتشاف المتزامن للمصفوفات والحساب الجيومتري ، حساب غراسمن Grassmann ، وكذلك تحقيق مفاهيم اجسام الاعداد الجبرية والمثال ، هذا الاكتشاف اقتضى اعادة صياغة مفاهيم اساسية ، كما اقتضى دراسة مختلف انماط الجبر ، وهو عمل طويل النفس انطلق به الرياضي الاميركي ب . بيرس B . Peirce (1880 - 1809) .

وانطلق ب . بيرسي من دراسة الرباعيات والحساب المادي ، ثم انجز انطلاقاً من 1864 البحوث الاولى العامة حول بنية انواع الجبر ذي البعد المتناهي ، فأوضح مفاهيم ذات أهمية وخصائص أساسية متنوعة . واكملت اعمال بيرس ، التي نشرت سنة 1870 ، ثم سنة 1881 تحت اسم (الجبر المستقيم التقارني) من قبل علماء الجبر امثال : كيبي ، وسيلفستر ، ولاغير وش . س . بيرس ، «ديديكين Dedekind قبل ان يستمر بها تلامذة لي وهم : ستودي Study ، شيفرر Scheffers ، شور Schur ، موليان Molien ، وكارتان Cartan الذين طبقوا في هذه الدراسة طرقاً كانت مستعملة في تصنيف الزمر المستمرة . ودلت هذه البحوث التي استمرت في القرن العشرين ، أول الأمر على التنوع العظيم في البنيات الجبرية الممكنة ، كما اتاحت هذه البحوث الانطلاق بنظرية عامة ، ثم الشروع في وضع تصنيف ، ووضع اسس انطلاق اعمال علماء الجبر في القرن العشرين ، وهكذا ؛ ويفضل التطور السريع نوعاً ما انتقل الهدف الرئيسي للجبر من نظرية المعادلات الى نظرية البنيات الجبرية .

3 - المتوجهات والوثائق

بدايات الحساب الاتجاهي : ان مفاهيم المتجه والجمع والاتجاهي كانت موجودة صمم دواعد تركيب وتأليف القوى والسرعات ، وهذه القواعد كانت معروفة منذ اواخر القرن السابع عشر ، وكانت بشكل اكيد معروفة في دراسة أنظمة القوى ، هذه الدراسة التي كان يقوم بها العديد من المؤلفين في بداية القرن التاسع عشر . ومع ذلك فإنه بمناسبة التمثيل الجيومتري للاعداد المركبة بُدئ بدرس العمليات الاتجاهية لأول مرة وبشكل واضح ، دون التوصل الى تحديد مفهوم المتجه بالذات تحديداً واضحاً⁽¹⁾ . وبعد ربع قرن من الزمن ادى غهوض الجيومتريا الحديثة والميكانيك والفيزياء الرياضية

(1) راجع بهذا الشأن دراسة ج . ايتار ، الفصل القادم .

وانجاز المفهوم التجريدي لقانون التركيب ، كل ذلك أدى الى فتح الطريق امام التاويلات المتنوعة لفكرة التوجه وللعمليات الأولية في الحساب الاتجاهي .

ان التمثيل الجيومترى للاعداد المركبة كان في اساس اعمال بللافيتس Bellavitis التي بدأ بها انطلاقاً من سنة 1832 ، فزادته الى نظريته حول « المتكافئات » وهي اول تمثيل جامع لحساب يتناول القيم الموجهة . وهذا التمثيل هو ايضاً في اساس الطروحات التي وضعها باري دي سان فينان Barré de Saint Venant (1845) وكوشي (1847) . وبالمقابل فإن موبوس Mobius في كتابه « باري سانتريش كالكول » Barycentrische Calcul (1827) وبصورة خاصة هـ . ج . غراسمان H . G . Grassmann (1809 - 1877) ، في كتابه Lineale Ausdehnungslehre (1844) طبعة 2 1878 ، طبعة جديدة 1862) باشرا بمشروع اكثر طموحاً في التحليل الجيومترى ، وبفضل الشجاعة في برنامجه ، وبفضل اصاله تصوره ، وفكره ، ولغته وبفضل تربيته ، وبفضل الميتافيزياء الكامنة في عمله بدا كتاب غراسمان صعب المنال . ورغم ان غوس قد قلر هو وموبوس Möbius عمل غراسمان ، فإنه لم يؤثر في تقدم الرياضيات الا عندما قام هنكل Hankel (1867) وشليغل Schlegel (1872 - 1875) بتقديم عرض عنه أكثر وضوحاً . ان عرض غراسمان للأفكار الاساسية في الحساب الاتجاهي (حاصل داخلي ، حاصل خارجي ، الخ . .) هذه الأفكار امتدت فشملت الفضاءات ذات الأبعاد المتعددة ، مما اثار يومئذ اهتماماً قوياً ومعمرأ .

وهناك اسلوب آخر في العرض مشتق مباشرة في نظرية الرباعيات ، يؤدي الى نفس العمليات الاتجاهية التي حققها الحساب الجيومترى لغراسمان ؛ ان حدود الخط غير الموجه والخط الموجه يعود الفضل في تحديدها الى هاملتون بشكل خاص .

نهضة التحليل الاتجاهي : منذ منتصف القرن التاسع عشر انتشر استعمال المتوجهات بسرعة في مجال الميكانيك وكذلك في مجال تقدم الستاتيك في الأنظمة المستمرة وتقدم الفيزياء الرياضية المؤدية الى ادخال بعض الأبعاد الجيومترية المحددة في كل نقطة من مطلق مجال ، مثل تبدل الضغط ضمن حقل غير موجه لتحديد تعريفه ، بعد ان وضعه لامي ، وتوضح بفضل هاملتون . وانطلاقاً من سنة 1870 ساعدت تأثيرات ريمان Riemann وانتشار اعمال غراسمان Grassmann على نهضة التحليل التوجيهي ذي الرموز المتماثلة في دقتها والمتكيفة بمرونة وفعالية مع دراسة العديد من مسائل الفيزياء الرياضية او الجيومترية التفاضلية . وفي خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر بدا التقدم الاكتر أهمية في مجال التحليل التوجيهي من صنع الفيزيائيين الرياضيين امثال ستوكس Stokes وماكسويل Maxwell وهيفيسايد Heaviside وجيبس Gibbs ولورنتز Lorentz الذين رغبوا في تحديد المظاهر المتنوعة للواقع الفيزيائي فأدخلوا مفاهيم التدفق والتفارق والتداور الخ . واصطدم تأثيرهم أحياناً ، وبشكل عنيف بتأثير بعض الممثلين لمدرسة الرباعيات امثال : تيت Tait ، وماكفارلان Macfarlane وأدى تعدد الأنظمة في مجال التوزيع الى قيام العديد من المناقشات الطويلة التي اخبرت في بعض البلدان ادخال الطرق التوجيهية في التعليم . وفي القرن العشرين عرف الحساب التوجيهي انتشاراً واسعاً بفضل استقرار تربيته وبفضل التوسع في تطبيقه وبفضل النهضة السريعة التي حصلت في مجال آخر مجاور وهو الحساب الوترى .

بدايات الحساب التوتري : ان انتشار الحساب التوتري والأهمية التي حصلت في العديد من قطاعات الرياضيات ، لهذه الطريقة من طرق الحساب الشكلي ، اكرر هذا الانتشار وهذه الأهمية بدايات حديثي العهد وعلى كل فإن العديد من مبادئه أي من مبادئ الحساب التوتري قد انجزت بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر وشرحت في حوالي (1900) . وقد لعبت نظرية التمدد دوراً أساسياً في هذه الولادة ، كما يدل على ذلك تعبير الموتر بالذات . وهو تعبير ادخله فوات Voigt (1898) واستعاده جيبس Gibbs (1902) للدلالة على نظام الأعداد الستة المميزة للتوترات داخل جسم مطلق الشكل . وقد استخرجت القواعد الأساسية للحساب التوتري بصورة تدريجية من الدراسات حول ستاتيك الأوساط المستمرة ، هذه الدراسات التي قام بها العديد من الفيزيائيين والرياضيين من القرن التاسع عشر ابتداءً من غرين Green الى كوشي Cauchy ، ونافير Navier ، وصولاً الى كيرشهوف Krichhoff ، ونيومن Neumann وبلترامي Beltrami ، وو . تومسون W. Thomson وجيبس Gibbs وفوات Voigt . والتقدم في مختلف فروع الفيزياء الرياضية دل ، حتى قبل ان تتحدد الالفوريزم وتفسر بوضوح ، بأن التوترات تتدخل الى جانب الموجات في اغلب قضايا الفيزياء ، وقدمت نظرية اللامتغيرات عناصر الغوريتمية ضرورية لايجاد الحساب التوتري الذي من أهدافه دراسة التحولات التي تلاقيها مكونات التوترات عند التغير في أنظمة الإحداثيات ، كما من أهدافها استنتاج اللامتغيرات منها . ان دراسة الأشكال المتعددة الخطوط ، ذات السلاسل المتعددة من المتغيرات « ذات الضغوطات المتبدلة المنسجمة » و « ذات الضغوطات المتبدلة المتعاكسة » ، تعادل دراسة التوترات (Tenseurs) وقد ساعد تأثير ريمان Riemann ، على خلق التحليل التوتري . ان مفهوم الانحناء الفضائي عند نقطة معينة ، في اتجاه عتصر مسطح معين ، هذا المفهوم الذي ادخله ريمان في مذكرته في سنة 1854 حول الفرضيات الأساسية في الجيومتريا ، يتوافق مع المعطى الضمني لموتر ذي انحناء . وقد فسر هذا الحدث عند وضع الحساب التفاضلي المطلق من قبل ج.ريشي (1884) G. Ricci ؛ وتأسس ، على اثر اعمال كريستوفل Christoffel (1869) ، على الدراسة المنهجية للأشكال التفاضلية الرباعية . وكشفت مذكرة شهيرة وضعها ج.ريشي واحد تلامذته ت . ليفي سيفيتا T. LeviCivita (مناهج الحساب التفاضلي المطلق ، حوليات الرياضيات ، 1901) ، عن قوة هذا التطبيق للحساب التوتري على الجيومتريا التفاضلية . وبذت فائدة هذا الحساب التوتري بشكل أكثر بروراً عندما وجد فيه اثنتان من الفيزيائيون النسيون الاداة الرياضية الأكثر ملاءمة لأعمالهم . وبعد ذلك عرف الحساب التوتري غواً سريعاً ودخل تدريجياً في التعليم .

4 - الاعمال الاولى في المنطق الرياضي

ان احدي المقدمات البارزة في القرن التاسع عشر قائمة على ان هذا القرن قد قدم ، اضافة الى الدراسة المعمقة لأسس الرياضيات ، مجهوداً في تنهيج المنطق ، وهذا الجهد يعتبر مرحلة ضرورية من اجل البدهنة اي تحويل المعارف الى بدسيات ، ونحو تشكيل صيغ للرياضيات ، ونحو خلق المنطق الرمزي وخلق ما هو ابعد من الرياضيات .

وقد سبق ان قام ليبنتز في القرن السابع عشر بمحاولة توسيع المنطق الكلاسيكي ومباشرة دراسة

مجمل العمليات المنطقية المتاحة للفكر ، عن طريق تحليل اشكال اللغة والفكر العلميين .

وتقد أعلن ليبنز في احدى محاولاته الاولى (بحث في الفنون المتداخلة ، ليبنز ، 1666) عن طريقة عامة بواسطتها تحول كل حقائق العقل الى نوع من الحساب ، وبذات الوقت أعلن عن نوع من اللغة او الكتابة الشاملة تقوم فيها الرموز والكلمات بقيادة العقل وتوجيهه .

هذا المشروع ذو السمة العامة الشاملة الذي وضعه المبادئ الاولى لعلم البديهة (اكسيوماتيك) ومبادئ المنطق الرمزي الحديث ، لم يشتهر الا قليلا وإذا كان من الممكن العثور على صدى لهذه الإهتمامات في بعض الكتابات التي وضعها ج هـ . لامير او كوندورسي ، فانه في اواسط القرن التاسع عشر فقط تم وضع الأسس الحقيقية للمنطق الرياضي .

لا شك انه منذ النصف الأول من القرن التاسع عشر ، وفي مختلف قطاعات الرياضيات برز اهتمام ملحوظ بدقته ، ومن جراء هذا برز منطق شكلي صوري . تلك هي بشكل خاص حالة التحليل الرياضي حيث بذل بولزانو وكوشي وآبل وديريكلي جهداً كبيراً في سبيل الدقة ، هذه الدقة التي أدت في النصف الثاني من القرن الى تحسب الرياضيات عند كرونكر ، والى نظرية مجموعات كانتور . وبذات الوقت أيضاً أدت الى تقدم نظرية الاعداد وادخال التطابق او تساوي الاشكال والى تشكيل نظرية الزمر والخطوات الاولى في نظرية اللا متغيرات ، ثم انشاء الجيومترية الاسقاطية ، وولادة الجيومترية غير الاقليدية ، وادخال الموجهات والرباعيات (وهو اسم يطلق على بعض العبارات المعقدة المستعملة في حل العمليات الهندسية) الخ . كل ذلك مهد الطريق الى اعادة النظر في مجمل البناء الرياضي القائم على توسيع فكرة الجبر وعلى تحليل اكثر وعياً بالمبادئ وعلى تعميق لبنية الخصائص والترقيمات الجبرية . ورغم ان هذه العوامل قد بشرت ، بحكم التلاقي بتطبيق حتمي للرياضيات ، فان قلة قليلة من علماء الجبر وعت ضخامة الاصلاح المنطقي وتجسرت فواجهت القيام بعملية محاولة جريئة لتنسيق الرياضيات والمنطق . انه في بريطانيا برزت هذه الحركة بوضوح اكبر وبنجاح ظاهر . وان هي اشرقت في حدود سنة 1850 بفضل نشر الكتب الاساسية على يد مورغان وبول ، فانها أي الحركة قد ولدت قبل ربع قرن وذلك عندما ركز بيكوك Peacock وباباج Babbage وج . هرشل J . Herschel ، على الاساس المنطقي للرياضيات ، وبشكل خاص على الصفة التجريدية للعمليات التجريدية⁽¹⁾ .

انه في مؤلفات أوغيسست دي مورغان (1806 - 1870) ، وهو رياضي ذو فكر اصيل ظهر لأول مرة وبشكل واضح جداً الاهتمام المزدوج في تقديم المنطق بشكل رياضي بعد ازالة نير التقنيات العملية ثم تحليل مجمل الرموز والعمليات والقوانين الرياضية من الزاوية المنطقية (المنطق الصوري 1847 ؛ مثلثات والجبراً مزدوجة ، 1849) . واعطى جورج بول (1815 - 1864) دفعة حاسمة لهذا التيار المزدوج في البحوث ، وذلك بواسطة كتابين اساسيين : التحليل الرياضي

(1) لقد شرع بعض الرياضيين الفرنسيين امثال أربوغاست Arbogast و سرفوا Servois و جرجون Gergonnes بشكل خاص ، في بداية القرن التاسع عشر في بذل جهد مفيد في هذا السبيل وذلك بتحديد بعض الخصائص العملية ، ومع ادخال الاساليب المتنوعة في الحساب الرمزي . ويستحق الإشارة هنا ما قدمه بولزانو Bolzano (ويس شافت سليهر ، 1837) .

للمنتطق ... (1847) ، ثم قوانين الفكر (1854) ، وهذان الكتابان جعلنا من بول خالتر المنتطق الرمزي الحديث .

« كتب يقول في مقدمة قوانين الفكر : ان الغرض من هذا الكتاب هو دراسة القوانين الاساسية لعمليات الفكر التي بواسطتها يتم التحليل العقلي ، ثم التعبير عنها بلغة الرمز الحسابي . وعلى هذا الاساس يبني علم المنطق ويوضح له طريقه حتى يجعل من هذا العلم اساس منهجية عامة من أجل تطبيق عقيدة رياضية في الاحتمالات ؛ وأخيراً من أجل الاستخلاص من العناصر المتنوعة المتجمعة بخلال هذه الاستقصاءات ، بمض المعلومات المحتملة حول طبيعة وحول تكوين الفكر البشري » .

من أجل هذه الغاية قام بول الذي عمل ، قبل استعمال الحروف كرموز ، على المجموعات ، بقصر المنطق على الحساب الافتراضي وعلى الجبر البوليني ، وهو غط من الجبر البسيط السهل الاستعمال المنقولة تماماً عن النموذج الكلاسيكي . وتشكلت تحت تأثير بول مدرسة منطق رمزي حضرت من أجل توحيد المنطق والرياضيات بشكل تدريجي . في حين عمل مورغان (في سنة 1858 - 1860) ثم و . س . جيفونس W . S . Jevons (1864) على اشاعة واستكمال مبادئ الجبر البوليني ، وقام المنطقي الاميركي ش . س . بيرس (1839 - 1914) بتوجيه الرمزية في « جبر المنطق » في طريق اكثر دلاءمة للتطبيقات الرياضية ، وزيادة على الكتب الضخمة التأليفية التي وضعها E . Schroder (الجبر دي لوجيك ، 1877 ، وكتاب دراسات في الجبر المنطقي ، ثلاث مجلدات ، 1890) يتوجب ان نشير الى موسوعية والى المواهب المنطقية الاكيدة ، عنده . هنكل H . Hankel (1839 - 1873) الذي اعلن عن « مبدأ الدوام » المهم في القوانين الصورية للحساب ، هذا المبدأ الذي صرح عنه سابقاً بيكوك Peacock

وفي سلسلة من الكتب (1879 ; 1884 ; 1893 - 1903) حول اسس الحساب حلل ف . ل . غوتلوب فريج F . L . Gottlob Frege (1848 - 1925) مفاهيم المنطق وادخل بشكل خاص متغيرات تناسبية إلى جانب المتغيرات الكلاسيكية ، وحاول ان ينقل بمجمل الخصائص الحسابية بواسطة « كتابة المفاهيم » (Begriffsschrift) . وتحقق تأثيره المتفصل مؤقناً نتيجة تعقيد رمزيته ، بشكل خصب في القرن العشرين من خلال كتاب ب . رسل B . Russell و . ا . ن وايتهد A . N . Whitehead . ويفضل معرفته بالتأريخات الاحداث في مجال البحث الرياضي ، ساحه جيوسب بير Giuseppe Peano (1858 - 1932) مساهمة عمالة في تطبيق الرياضيات وفي سنة 1882 ، بشر عرصاً متماراً للحساب الجيومترى الذي وضعه مويوس Möbius وغراسمن Grassmann . وقد قدم لهذا العرض بتمهيد حول المنطق الرمزي المستلهم من مؤلف شرودر Schroder ومن طرق الجبر والحساب الجيومترى . واتاحت له مجله ، فيفيستا دي ممتاتيكا التي اسسها سنة 1891 ان يشكل مجموعة من التلامذة الاختيار هم : بورالي - فوري Burali - Forti ، بيرى Pieri ، فاكا Vacca ، فيفنتي Vivanti ، بادوا Padoa ، فانو Fano ، الخ . عاونوه في اعداد « دليل الرياضيات » (خمسة مجلدات ، تورينو ، 1895 - 1905) وهي مجموعة من المبادئ في المنطق تتضمن نتائج اساسية لمختلف فروع الرياضيات ، منقولة بلغة صهاغية بفضل رمزية مبتكرة وسهلة . واذا كان تأثير نتاج ج . بينو

G . Peano قد تعطل بفعل بعض التجاوزات فقد برز في ما بعد بشكل موفق ذلك ان العديد من ترقيماته قد اعتمد في اللغة الصياغية الحاضرة والممت اعمال بينو هيلبرت منذ كتابه « كرونل لاجن درجيوميتري » (1899) وكذلك عمل بـ. روسل وآ . ن . وايتهد A . N . Whitehead B . Russell الذي تسببت « مبادئه الحسابية » (ثلاثة مجلدات ، كامبريدج ، 1910 - 1913) في نهضة المنطق الرمزي وما وراء الرياضيات ، كما ان اعمال فريج وبينو قد اكدت ، في اتجاهات اصيلة ، الاهمية التي اكتسبتها منذ اواخر القرن 19 اعمال المنطق الرياضي المفتوحة من قبل بول ، قبل 50 سنة .

II - الجيوميتريات

في بداية القرن التاسع عشر ، ونحت تأثير مونج انجه قسم من المدرسة الحديثة الفرنسية نحو دراسة مختلف فروع الجيوميتريا : الخالصة او التاليفية ، التحليلية او المتناهية الصغر . ولكن ، في عمل مونج كانت هذه المفاهيم المختلفة تتداخل فتسمح بفهم المظاهر المختلفة للمسائل المدروسة ، بذات الوقت كانت غالبية خلفائه تقصر جهودها على واحدة من وجهات النظر هذه . ومن جراء هذا الحدث ، وجهت عدة مدارس متنافسة واحياناً متخصصة تطور التقدم نحو الجيوميتريا بخلاف القرن التاسع عشر . ومن فرنسا امتدت حركة التجديد الى ألمانيا الى إيطاليا أولاً ، ثم الى انكلترا وإلى البلدان الأخرى ، متخلدة فيها أشكالاً متنوعة وعاملة بشكل مختلف على توسيع مجالات جبرية وتحليلية بأن واحد .

I - نهضة الجيوميتريا التاليفية

تجدد الجيوميتريا الخالصة : ان تجديد الجيوميتريا الخالصة او التاليفية قد برز بشكل خاص في النصف الأول من القرن التاسع عشر . وهذا التطور كان موسوماً بالنهضة السريعة للجيوميتريا الاسقاطية وبالتوسع في ادخال التغيرات الجيوميتريّة ، وأثار هذا النمو ، لدى بعض باعثيه ، الامل بتكوين علم مستقل معزول عن كل دعامة تحليلية .

ان هذه الیقطة تبدأ باعادة اكتشاف الجيوميتريا الاسقاطية التي سبق ونسيت مبادئها التي وضعت سنة 1639 من قبل ديزارغ Desargues . ورغم توجه الجيوميتريا الوصفية التي وضعها مونج نحو تطبيقات الاسقاط المخروطي فقد لعبت دوراً رئيسياً في هذا المجال . ان دراسة البعد المنظوري ودراسة الاستقطابية، اللتين وضعهما مونج (يراجع المجلد الثاني ، القسم الثالث)، واللّتين عاد اليهما، ضمن الخط الفكري لافكاره العديد من تلامذته ، كشفت سريعاً عن قوة هذه الادوات . وبناء عليه بين بريانشون Brianchon ، عن طريق الاستقطابية الاقتراح او العرض المرتبط بقاعدة السداسي الالوجه الذي وضعه باسكال Pascal سنة 1806 ، كما عالج بريانشون العديد من المسائل المتعلقة بالنظرية الاسقاطية للمخروطات (1817) وهو موضوع درسه أيضاً دوپين Dupin . وبذات الوقت مع تأثير مونج عملت كتب ل . كارنو L . Carnot على تنشيط هذا التجديد في الطرق الجيوميتريّة . ورغم تفضيلات جرغون Gergonne للجيوميتريا التحليلية بدت « حوليات الرياضيات » اداة ناشطة للربط فيما بين هذه الكتب التي كثر عددها والتي كانت تهتم بتطور الجيوميتريا الخالصة .

بونسيلى واعادة اكتشاف الجيومترى الاسقاطية : وكان لاحد خريجي مدرسة البوليتكنيك هوجان فيكتور بونسيلي Jean - Victor Poncelet (1788 - 1867) مكانة مهمة في هذه المناقشات . اسر في روسيا في حرب 1813 - 1814 فاعد وهو في السجن اسس اصلاح عميق لعلم الجيومترى . وكشفت اصالة واهمية افكاره سنة 1822 عند نشر كتابه « الخصائص الاسقاطية للرسوم » وقد قدم تصميماً لها سنة 1820 امام اكاديمية العلوم .

وبدا نشر هذا الكتاب معلماً يدل على انشاء الجيومترى الاسقاطية الحقة وهو دراسة للخصائص الجيومترية التي تدرج عند الاسقاط المركزي او المنظوري وبلدت طرقه الاساسية قائمة على تعميم استخدام المنظور البعدي والقطاعات المسطحة ، كما هي قائمة على دراسة مختلف التحولات الجيومترية وعلى الاستعانة المنهجية بالعناصر اللانهائية وبالعناصر المثالية (الخيالية) .

وكانت هذه النقطة الاخيرة التي حققها بونسيلي بواسطة مبدأ الاستمرارية الشهير ، قد جلبت له انتقادات كوشى الذي نازعه في اسسها المنطقية ؛ وكانت الاسس الدقيقة وبجاء تطبيق هذا المبدأ المنبثق فعلاً من المبدأ التحليلي المتعلق بتمديد التساويات الجبرية هذه الاسس قد اوضحت سنة 1866 على يد شال Charles Jonquères . ونذكر بشكل خاص المدخل الذي وضعه بونسيلي للنقاط الدائرية وللنقاط اللانتهائية الخيالية وهي نقاط مشتركة بين كل الدوائر في السطح ، كما نذكر ادخال Ombilicale والمخروط الخيالي اللانتهائي المشترك بين كل الدوائر .

ورغم تحفظات المحللين عرف كتاب بونسيلي شهرة كبيرة وتكونت الجيومترى الاسقاطية كفرع مستقل من الهندسة ، مزود بمنهجه الخاصة . وتعمم التحول بواسطة القطعيات المتقارنة أو القطعية ، التي ادخلها بونسيلي تحت اسم الترابط . وارتنى التناظر بين النقطة والخط (او السطح) الذي يبدو فوق هذا السطح شكلاً اعم وذلك ضمن مبدأ الثنائية الذي اوضح معناه كل من بونسيلي ، وجرون وشال ومويوس وبلوكر .

هذه النظرية التي هي اساس النظرية الكلاسيكية حول الاقطاب والمستقطبات كانت اداة اكتشاف ممتازة . ان الاستعمال الواسع الذي قام به بونسيلي للتغيرات الجيومترية مثل : الاسقاط الاسطواني او المركزي ، والتماثل ، والاستقطاب ، الخ ، من اجل رد بعض السمات الى حالات اكثر بساطة (مثلاً استخلاص خصائص المخروطات في خصائص الدائرة) أقول ان هذا الاستعمال أدى الى دراسة مختلف انماط التحولات .

شتاينز ، شال والعقيدة الاسقاطية : ان الجهد الرائع الذي بذله بونسيلي ليبن أولية مناهج الجيومترى الخالصة ، قد استكمل من قبل تلامذة متنوعين ، رفض بعضهم اي استجداد ظاهر بالتحليل ، فعمدوا الى ايجاد عقيدة مستقلة منافسة للجيومترى التحليلية .

ان «الحساب الباريسنترى» Barycentrische Calcul الذي وضعه آ.ف. مويوس A.F.Möbius (1790 - 1868) ، وان كان تحليلياً في اسامه ، الا انه قدم عدداً من التجديدات المهمة . والتوجه النهجي للاقسام والسطوح والاحجام ، سبق واقترحه مويج ، وهو مستخدم في هذا الكتاب ، ومفهوم الرابط غير المتجانس ، والمعروف سابقاً من قبل بابوس Pappus ، والمعاد ادخاله من

قبل بريانشون Brianchon ويونسيلي مستعمل فيه أيضاً وبشكل واسع. وألح شتاينر Steiner وشال Charles على السمة الاسقاطية فجعلاً منها مفهوماً أساسياً في الجيومتريا الجديدة. وادخل مويوس أيضاً المفهوم العام للتحوّل الهوموغرافي*، وقد بين شال ومويوس Mobius بالذات ان هذا التحوّل يشتمل، باعتبارها حالات خاصة، على الانتقالات والمائلات والتعاطف، وبيناً أيضاً ان سطحين متطابقين هوموغرافياً يمكن ان يوضعا موضعاً بعدياً منظورياً.

ولكن مع شتاينر وشال تكونت بالفعل العقيدة الاسقاطية. وكان الجيومتري السويسري جاكوب شتاينر (1796 - 1866)، الذي نجح بشكل باهر في التعليم في ألمانيا، هو في أساس تقدم الأكثر أهمية فقد عمل ادخال عناصر اللامتاهي، وطريقة الاسقاطات والمقاطع، على حبل شتاينر، في كتابه «سبستامش انتيكيلون... 1832» على تعريف وتحديد - في الفضاء الاسقاطي (وهو فضاء الجيومتريا البدائية المستكمل بالانصاف) - ستة اشكال اساسية مصنفة ضمن ثلاثة انواع. وبين انه بالامكان الانتقال من شكل الى شكل آخر في ذات النوع على ان يتحقق شرط يسمى شرط الاسقاطية، اعطاه شكله العام ستود Staudt (1847). وانطلاقاً من هذه الاشكال منيح شتاينر طرق الخلق الاسقاطي للرسم وهي طرق استعملها مؤلفون كثيرون في حالات خصوصية. وقد حدد بالتالي إمّا تقاطع، الانصاف المتماثل من صمتين متماثلين وإما شكل تمامي. وقد ساهم شال الذي سبق شتاينر حول بعض النقاط، مساهمة بالسطح في شر هذه الطرق الموحدة والسيطة وعمم اسلوبه واشمل تعدديات ذات مرتبة اعلى. وانجز شتاينر في ما بعد بناء منحنيات وسطوح ذات درجة عليا. وقام عدة مؤلفين، ومنهم شال وسيدويتز Seydewitz وكريونا Cremona وشروتر Schröter بالمساهمة في هذا العمل، مع اخفائهم احياناً المساعدة الاكيدة التي قدمتها الاعمال المتقدمة في الجيومتريا التحليلية وكذلك نظرية الاشكال الجبرية ونظرية اللامتغيريات. وطور شتاينر بالطريق الجيومتري نظرية القطب في المنحنيات الجبرية. هذه النظرية التي ادخلها تحليلياً بويليه Bobillier وبلوكر Plucker (فرلينجن اوبر ستيتش جيومتري، جزءان «ليزغ»، 1867).

وبدا عمل ميشال شال (1793 - 1880) موازياً لعمل شتاينر، وساهم بشكل واضح في نهضة وفي نشر الجيومتريا الاسقاطية. فعدا عن المذكرات العديدة التي اصدرها، كتب سلسلة من المؤلفات المهمة: «المنظرة التاريخية... (1837)»، وهو بيان رائع في تاريخ الجيومتريا، مستكمل بدراسيتين حول مبادئ الجيومتريا الاسقاطية، ثم كتاب الجيومتريا العليا، وكتاب القطع المخروطي حيث طبقت الطرق الجديدة في الجيومتريا التركيبية، بشكل واسع وابق، ونشر الى استخدامه المنهجي لمبدأ الاشارات والتصورات، والى مهارته في استخدام التحولات الأكثر تنوعاً، في دراسة جيومترية خلاصة لمسائل الصعبة مثل تجاذب الاجسام البيضاء، والترايب ذات الفتحات الذاتية ثم جيوديزيات الاجسام البيضاء (Geodésiques de L'ellipsoïde)، والسطوح المنتظمة من الدرجة الثالثة، الخ اضافة الى طريقته الشهيرة في المطابقات.

(*) ويسمى أيضاً تحوّل مويوس.

ستود *Staudt* وبهنة الجيومترى الاسقاطية : ومع ذلك ، ورغم الاناقة والقوة في المناهج ، ورغم الاهمية التي ارتدتها النتائج الحاصلة ، ظلت الجيومترى الاسقاطية تعاني بعض الصعوبات التي كانت الجيومترى التحليلية قادرة على تجاوزها : من ذلك استعمال المفاهيم المترية في تحديد العناصر الاسقاطية ، والتبرير غير الكافي لاستخدام العناصر الخيالية ، ثم اللجوء للمصو الى اسلوب الاحداثيات ، وبعبء بعض التينيات . ومن اجل التغلب على هذه العقبات حاول ش . فون ستود *Ch. Von. Staudt* (1798 - 1867) ، ان يعيد تكوين مجمل الجيومترى الاسقاطية مستقلة عن كل فكرة مترية (مثل الزوايا ، والمسافة الخ) ، بواسطة البديهيات المتعلقة بالموقع او بالمرتبة ، مرتبة العناصر الاساسية . في كتابه المسمى « جيومتري در لاج 1847 » ، قصر نفسه على المجال الواقعي ، وبعد ان عالج مسألة الاسقاطية ، حدد العلاقة اللاتوافقية والاسقاطيات والمخروطات ، وهكذا اعد بناء قسم من الجيومترى الاسقاطية الكلاسيكية . وفي كتابه « بيتراج زر جيومتري در لاج ، 1856 - 1860 » ، حدد العناصر الخيالية كعناصر مزدوجة في الترقية او التداخل الاهليجي وبين ان هذه العناصر الخيالية تتلاءم مع القواعد الاساسية . وبفضل نظريته حول النافورات ادخل معاني النظام والانحاء ، وبإقرار مبدأ وقواعد حساب الاحداثيات ، حدد مجال الجيومترى الاسقاطية ومجال الجيومترى التحليلية .

وبخلاف العقود التالية ، عرفت الجيومترى الاسقاطية نجاحاً باهراً دلت عليه المنشورات والكتب مثل كتب ري *Reye* (1868) وكريمونا *Cremona* (1873) الذي ترجم إلى الفرنسية سنة 1875 الخ . وتعرض كتاب ستود لتحليلات انتقادية بالغة من قبل العديد من الجيومترين . وعلى هذا ، وبين 1870 و 1874 ، ادخل كلين *Klein* ملاحق مهمة تدل على وجوب اضافة بدئية الاستمرار وتبين استقلالية الهندسة الاسقاطية عن بدئية المتوازيات ، وثبتت عدم تبينة قواعد المثلثات الهومولوجية التي قال بها ديزارغ *Desargues* وكذلك الهكساغرام الذي وضعه باسكال في الجيومترى الاسقاطية المسطحة ، ونقيم الهندسة الاسقاطية داخل الهيكل الجيومترى ، وتطلق توسع هذا العلم ليشمل الفضاءات ذات الابعاد المتعددة ، الخ . وقدمت انواعاً أخرى من المسلمات ومنها مسلمة هـ . ويسنر *H. Wiener* المؤسسة على مسلمات الموقع والمرتبة وعلى قواعد الترتيب (المثلثات الهومولوجية المتماثلة ، وهيكسا غرام باسكال) وكذلك مسلمة أنريك *Enriques* ! الأقرب الى ستود .

الجيومتري التعدادية : من أهداف حل مسألة البناء الجيومترى تحديد عدد الحلول . ان المسائل الكلاسيكية في بناء الدوائر قد جعل علماء الجيومترى بالفن هذا البحث المرتبط بالتأكيد بالمسألة الجبرية مسألة الاستبعاد . الا ان دراسة هذه المسألة بدقة قلما بوشر بها الا في القرن التاسع عشر من قبل شتاينر وبلوكر وجونكير ، وذلك بمناسبة مسائل متنوعة تتعلق بتحديد المخروطات والمنحنيات الجبرية .

في سنة 1864 اقترح شال طريقة جديدة سميت طريقة الميزات . ومن شأنها معالجة المسائل من هذا النمط ثم امكانية تحديد العديد من خصائص انظمة المخروطات ، عن طريق جيومتري خالص . ونجحت تماماً هذه الطريقة المرتكزة على « مبدأ التطابق » بين عدة نقاط فوق نفس الخط ، وكان من شأن هذا المبدأ ان عمم الاسقاطية . وبذات الوقت الذي عمل فيه شال ، سعى رياضيون

آخرون في توضيح مبادئ هذه الجيومتريا التعدادية ، مستخدمينها للدراسة مسائل متنوعة . وفي حين كان هلفن Halphen وكيلي وبريل يوضحون شروط تطبيق مبدأ التوافق أو التطابق كان هـ . شوبرت يطور العقيدة الجديدة في كتابه المسمى « كلحول در ايسلاندن جيومتري » ، 1879 ، حيث استعمل بديهة مكملته هي « مبدأ حفظ الرقم » ، الذي أثار حماس البعض ومعارضة البعض الآخر بأن واحد وإذا كان العديد من الجيومترين قد اعجبوا ببساطة الاستعمال الظاهرة ، وبعمومية وأناقة الجيومتريا التعدادية ، فإن بعض المحللين امثال هيلبرت Hilbert لم يرتضوا الرجوع الى الحدث الجيومتري ولا استعمال المبادئ العامة في شروط من الصلاحية غير موضحة . والواقع ، وكما هو الحال مع زوتن Zeuthen وجيامبيلي Giambelli وسيفيري Severi ، وفان در واردن Van der Waarden الذين اقروا الجيومتريا التعدادية في القرن العشرين ، فإن هذه الجيومتريا لا يمكن ان تؤسس الا بواسطة أفكار مأخوذة من الجيومتريا الجبرية ، ومن التوبولوجيا ومن الجبر الحديث . فضلاً عن ذلك ان شروط تطبيقها دقيقة للغاية ، دقة معجزة بحيث انها لا تبرر الاحلام الطموحة عند مبدعيها .

مسائل متنوعة : هناك انماط عدة من المسائل الجيومترية عرفت انتشاراً كبيراً في القرن التاسع عشر . ورغم ان العدد والتنوع في الامثلة المتخذة كانا على العموم انعكاساً لاساليب عارضة ، فإن العديد من النتائج الحاصلة قد ساهمت في تقدم مختلف فروع الرياضيات . وكانت مسائل البناء القابلة للحل بواسطة المسطرة والبيكار تحمل ، منذ العصور القديمة منزلة خاصة ، رغم ان طبيعتها العميقة كانت غير موضحة بعد .

وفي سنة 1837 بين ب . ل . ونزل P . L . Wantzel ان كل مسألة من هذا النمط تتوافق مع معادلة يعبر عن جذرها بسلسلة متناهية من العمليات الأولية (الجمع والطرح والضرب والقسمة واستخراج الجذر التربيعي) . وتتيح نظرية الزمر ، لاحقاً ، التعبير عن هذا المعيار ، بشكل اكثر سهولة . بين ونزل ان مسألتين كلاسيكيتين معروفتين منذ العصور القديمة وهما تضعيف المكعب ثم تقطيع الزاوية الى ثلاث ، لا يمكن ان تنيا ، في شكلها العام ، بواسطة المسطرة والبيكار ، ذلك ان حلها يتطلب حل معادلة من الدرجة الثالثة . وكذلك الحال بالنسبة الى مسألة تربيع الدائرة ، وهو أمر لم يقرر الا في سنة 1882 عندما اثبت لندين Lindemann تسامي العدد π .

وهناك مسألة اخرى من ذات النمط هي مسألة قسمة الدائرة او حصر متعدد اضلاع منتظم ضمنها . وهذه المسألة ترتبط بنظرية الدالات التريغونومترية وبالحل الجبري للمعادلة $x^n - 1 = 0$. ومنذ اقليدس ساد الظن بأن قيم n (اي عدد الاضلاع) التي بها يمكن البناء ، هي من عيار : $2^m, 2^m \times 3, 2^m \times 5, 2^m \times 15$.

وجلد غوس ، وهو يتابع طريقاً شق فندرموند Vandermonde (راجع المجلد 2 القسم 3 ، الكتاب 1 ، الفصل 1) ، في أول مؤلف له (1796) ، جند هذا الموضوع ميئاً امكانية رسم متعدد الاضلاع منتظم له 17 ضلماً ضمن الدائرة . وفي كتابه « مناقشات حسابية » ، وضع نظرية المعادلة الثنائية الحدين وبين ان للمسألة (حيث العدد n اول) لا يمكن ان تكون ممكنة الا اذا كان n بشكل $(2^k + 1)$ باعتبار ان k تساووي 2^m .

وترتبط بهذه المسألة البنائية بواسطة المسطرة والبيكار أنواع عدة من البنائات . ومن هذه الأنواع

الشهيرة البناء بواسطة اليكار فقط ؛ وهذا الأسلوب وضعه سنة 1672 ج . مهر G. Mohr . ثم عاد اليه ل . ماشيرون L. Mascheroni (في كتابه جيومتريا دل كومابسو ، 1797 ، ترجم الى الفرنسية سنة 1798) . . وبين هذا الاخير ان كل المسائل القابلة للبناء بواسطة المسطرة واليكار يمكن بناؤها بواسطة اليكار فقط . وقد اشار يونابرث بنفسه الى عمل ماشيرون ، في المعهد في فرنسا واقترح المسألة التي سميت باسم نابليون وهي : قسمة الدائرة الى أربعة أقسام متساوية بواسطة اليكار . وبين بونسيلي (1822) وشتاينر في كتابه « دي جيومتري كونستركشن . . . برلين ، 1833 » بأن كل المسائل القابلة للحل بواسطة المسطرة واليكار ، يمكن ان تحل ايضاً أما بواسطة مسطرة ويكار لفتحة معينة (وهو أسلوب سى ان درسه أبو الوفا Abu'l - Wafa وكرادان Cardan وطارناغليا Tartaglia وبديتي ولاميروبريانثون) ، أو بواسطة مسطرة ودائرة ثابتة مرسومة فوق السطح . ويتبع استعمال مسطرة ذات طرفين متوازيين او استعمال مثلث قائم خشي اجراء نفس البناءات . أما البناءات التي لا تستخدم فيها الا المسطرة والتي عرفت في مطلع القرن على يد ماشيرون Mascheroni وسيرفوا Servois وبريانشون Brianchon ، وجرجون Gergonne ، فقد ساعدت دراستها على تقديم نظرية الخطوط المعترضة وعلى ولادة الجيومتريا الاسقاطية التي بها تتعلق هذه الابنية .

واهتمام شتاينر بالبناءات الجيومترية دفعته الى تمييز الابنية المختلفة المتعلقة بمسألة واحدة من أجل تحديد اكثرها سهولة أو اكثرا دقة (1833) . ودراسة هذه المسألة قد غمت من جديد على يد ش . وينر و ا . ليموان E. Lemoine الذي حدد ، بشكل منهجي اكثر عما هو فعال ، دالات البساطة والدقة في كل بناء خاص ، كما ابتدع كلمة جيومتروغرافيا للدلالة على هذه الطريقة (1888) .

ان دراسة المسائل المتعلقة بالمثلثات والدوائر التي سبق اليها في القرن الثامن عشر أولر Euler وولاس Wallis قد تولع بها العديد من الجيومترين ، في بداية القرن التاسع عشر ، ابتداء من ملفاتي وجرجون وبونسيلي وكريل وفيوريباخ (1822) وصولاً الى شتاينر . وابتداءً من سنة 1873 اوجد ليموان Lemoine وبروكار Brocard ، والعديد من تلامذتهما جيومتريا مثلثاتية حقة .

هذا المجال البسيط ، ذو الكرتوغرافيا المعقدة ، سرعان ما رصع بالنقط والخطوط المستقيمة والدوائر والمنحنيات وبالقواعد ذات الاسماء الشهيرة نوعاً ما . ولكن رغم بعض التعابير الانيقة ورغم بعض البراعات في التبيين يجب الالتفات الى استعانتها غالباً بسعة الاطلاع ، وبالتمويه دون مواجهة مشاكل ومسائل أساسية من الناحية الاكثر عمومية .

وخارجاً عن بعض الفروع الخاصة مثل الجيومتريا التعدادية ، ومثل نظرية التحولات التي سوف تدرس فيما بعد لم تعرف الجيومتريا التركيبية الكلاسيكية تطوراً مشهوداً له بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر حيث انصبت الجهود بشكل اسامي على اعادة النظر بمبادئها وبهيكليتها . صحيح انه في هذه اللحظة اقامت الجيومتريا التحليلية ، بعد استخدام تقدم الجبر الخطي ، نظرية منافسة للطرق الموحدة الشكل والمركزة على مبادئ تحليلية متينة . وتحلل العديد من الجيومترين عن وجهة النظر الضيقة عند شتاينر وشال وستود ورفضوا التعلق بالأمل الطوباوي لجيومتري « خالصة » ومستقلة ، ولم ينجحوا اللجوء الى موارد الجبر والتحليل ، من ذلك ان التجربة الطموحة للنظرية

الجيومترية الخالصة حول المنحنيات وحول السطوح الجبرية ذات المستوى العالي والمسماة بنظرية كوتر (1887) هذه التجربة قلما نجحت إلا نجاحاً فضولياً . وبعد قرن من الخصومة الشديدة بين المفهومين المتعارضين في مجال البحث الجيومترى ، بدت الجيومترى تركيبيه ، رغم تطورها الملحوظ في أواخر القرن التاسع عشر ، في تقهقر واضح ، وإن هي استمرت بالاحتفاظ بمكانة ذات أهمية أولى ضمن البناء الرياضي ، وإن بقيت قيمتها التربوية والجمالية فوق النقاش إلا أن قدرتها الإيجابية بدت ناضبة . وسوف يكرس القرن العشرين تراجعها الذي عوضه تقدم الجيومترى الجبرية الباهر .

2 - الجيومترىات غير الاقليدية ومسألة اساس الجيومترى

لقد كشفت الأعمال الانتقادية التي جرت في القرن الثامن عشر ، وخاصة من قبل ساشيري Saccheri وليمبر Lambert (راجع مجلد 2 القسم 3 ، الكتاب 1 ، الفصل 1) من اجل تعميق معنى المسئلة الشهيرة مسلمة المتوازيات ، عن وجود ثلاث طرق ممكنة : الطريقة الاولى ترتكز على فرضية تكاد تساوي المسئلة وتؤدي إلى الجيومترى الكلاسيكية ؛ والطريقتان الاخيرتان ترتكزان ، بشكل متناقض ، على رفض هذه المسئلة من المفترض فيها اتاحة المجال لإقامة جيومترىات غير اقليدية . وقد استنتج ساشيري Saccheri أخيراً بطلان هذه الفرضيات الأخيرة في حين أن « لاميبر » الأكثر حذراً ، بين أنها تتحقق ضمن دراسة خصائص الرسوم الموضوعة فوق كرة عادية او فوق كرة ذات شعاع خيالي . ومنذ السنوات الاخيرة في القرن الثامن عشر ، تصدى ليجندر Legendre بدوره لهذه الصعوبة التي ضربت بوجودها اتاحة ونفاة البناء الجيومترى . واتاح التحليل الصبور والانتقادي وبصورة تدريجية ، تحديد مكانة ودور المسئلة الخاصة او المقترحات المعادلة لها ، مثل المعادلة بين زاويتين قائمتين ومجموع الزوايا الداخلية في المثلث . وبدت المراحل المختلفة في دراسته ضمن الطبوعات المتتالية لكتابه « الجيومترى » .

غوس ولوباشنسكي وبوليه (Gauss, Lobatchevski, Bolyai) والهندسة الهيربولية - ان الجهد الموازى الذي قام به غوس اتسم بجرأة كبر واعين من جهد ليجندر Legendre (1792) ومنذ انكب على هذه المسئلة التي أثارت اهتمام غوس طيلة حياته ، والتي لم يخصص لها أية نشرة .

وفي سنة (1799) اعلن انه يمتلك مبادئ هندسة جديدة مرتكزة على فرضية وجود عدد غير متناه من المتوازيات التي يمكن جرها على موازاة مستقيم من نقطة خارجة عنه ، وكان في هذا اول نموذج للجيومترى غير الاقليدية سماها كلين Klein الجيومترى الهيربولية . وفي سنة (1816) تأكدت وجهة نظره بوضوح ، ورغم عدم دقة عرضها ، فقد اعطت قيمة لبعض افكار ف . ك . اشويكار F. K. Schweikart ، الذي اكد في سنة (181٧) على التناسق المنطقى في جيومترية مستقلة عن مسلمة المتوازيات كما قُدِّر قيمة بعض افكار ف . آ . تورينوس F. A. Taurinus الذي طور في سنة (1825 - 1826) صيغ التريغونومترى فوق كرة ذات شعاع وهمي

وفي الوقت بالذات الذي انهى فيه غوس انجاز نظامه ، نظام الجيومترى غير الاقليدية حقق جيومتريان شابان مجهولان فعلا ، يعيشان بعيداً عن المراكز العلمية الناشطة ، وهما الروسي نيكولا

لوباتشفسكي Lobatchevski (1792 - 1856) والمختار جاتوس بوليه (1802 - 1860) نفس الاكتشاف هذا وجهداً عبثاً في نشره .

كان لوباتشفسكي استاذاً في جامعة قازان ، وعرض في سنة (1826) على زملائه اول عرض للجيومتريا الهيروبولية وسماها « الجيومتريا الوهمية » وأسس على التخلي عن مسلمة المتوازيات ، وعن فرضية ان مجموع زاوية المثلث المستقيم أقل من زاويتين قائمتين . وفي سنة 1828 اصبح لوباتشفسكي عميد الجامعة ، فعرض في مجلة محلية مبادئ جيومترية الجديدة وكذلك تطبيقاتها المختلفة (تريغو نومتريا هيروبولية ، وجيومتريا لا متناهية الصغر ، والتحليل ، إلى آخره) . ورغم أن مبادرته لم تلاق الترحيب ، فقد لاحق بإصرار جهوده وطُور افكاره ضمن سلسلة من المذكرات نشرها من سنة 1835 إلى سنة 1838 ضمن المجلة العلمية في جامعته . وقد رغب في الوصول الى حلقة الجيومترين الغربيين فقدم عرضين اوليين ، الأول بالفرنسية (عن الجيومتريا الوهمية ، في مجلة كريبل Crelle ، مجلد 17 ، 1837) والبحث الثاني بالألمانية - Geometrische Untersuchungen Zur Theorie der Para (Ietimen) برلين 1840 . هذه النصوص يبدو انها لم تفهم او تقدر إلا من قبل غوس الذي لم يعلن ، مع الأسف عن موافقته عليها . وحاول لوباتشفسكي بذل جهد آخر وذلك بنشر دراسة اجمالية سماها بان جيومترية Pangeometrie (1855 ، ترجمة فرنسية 1856) ، ولكنه مات دون ان يرى الاعتراف بفضلله .

وكذلك كان الحال مع خصمه الشاب جاتوس بوليه الذي أعلن لأبيه فركاس بوليه ، منذ 1823 ، انه قد ابتكر نظرية جديدة حول المتوازيات . وبعد ان انجزها نشر هذه النظرية الجديدة في ملحق متواضع(*) . . . Appendix Scientiam spatii absolute . من 28 صفحة) ضمن كتاب لوالده (1833 - 1832) (Marus Vasarieli . ورغم اصالة عرضها بدت هذه الجيومتريا المطلقة معادلة في مبادئها للجيومتريا الهيروبولية التي قال بها غوس ولوباتشفسكي وارسل ف . بوليه عمل ابنه إلى غوس الذي عرف فائدته ، ولكنه اشار إلى انه عثر على هذه الأفكار بالذات منذ زمن بعيد . وقد عمل هذا التصريح بالأسبقية على تشييط همّة بوليه الذي رفض بعد ذلك نشر عمله .

تدخل ريمان (L'intervention de Riemann) - وعندما زال مدعو الجيومتريا الهيروبولية الثلاثة وهم : غوس سنة 1855 ، ولوباتشفسكي سنة 1856 وج . بوليه سنة 1860 ، كان عملهم اصيلا تمام ولكنه بقي مجهولاً . وقد عملت مفاهيمهم التي كانت يومئذ غير مركزة بما فيه الكفاية ، على خلق سلسلة من المشاكل ادت دراستها الى اعادة نظر اجمالية بالبناء الهندسي الكلاسيكي .

وكانت نقطة انطلاق هذه الثورة الاطروحة الشهيرة التي وضعها برنهارد ريمان (1826 - 1866) (Ueber die Hypothesen , Welche der Geometrie Zu Grunde liegen) التي لم تنشر الا في سنة 1868 رغم انها عرضت سنة 1854 (وترجمت الى الفرنسية سنة 1870) في هذه المداخلة ذات الاهمية العظمى ادخل ريمان فضاءات هامة جداً (انظر لاحقاً) عن طريق المعطى : مربع العنصر الخطي ds^2 وأثار بهذه المناسبة النمط الثاني من الجيومتريا غير الاقليدية التي تتطابق مع الحالة التي يكون فيها مجموع زاوية المثلث أكبر من زاويتين قائمتين وهو ، أي النمط الثاني ، متمركز في الواقع على فرضيتين

احدهما تنكر امكانية جرح خط مواز لخط مستقيم انطلاقاً من نقطة خارجة عن هذا الخط والفرضية الثانية تتخل عن فكرة المستقيم اللامتناهي . هذه الهندسة الاهليلجية البضاوية التي ادخلها بشكل واضح كلين Klein (1871) ، هي لأول وهلة اكثر اذهالاً من جيومترية غوس Gauss ولوباتشفسكي وبولييه ، وهذا يفسر ان هؤلاء الجيومترين لم يستبقوها رغم انها تتطابق مع واحدة من الحالات التي تنبأ بها كل من ماشيري ولامير .

انتشار الجيومتريات غير الاقليدية : رغم ان كتابات لوباتشفسكي وبولييه وكذلك اطروحة ريمان قد بقيت حتى ذلك الحين بدون صدق ففي غضون بضع سنين ، ومنذ 1866 حتى سنة 1871 لاقت الجيومتريات غير الاقليدية انتشاراً واسعاً وكذلك نشرت عنها تفسيرات وتبريرات كثيرة .

في سنة 1866 عمل ج . هول (J . Hoüel) على نشر اشغال لوباتشفسكي وبولييه في فرنسا . وبعد ذلك بقليل قام باتاغليني (Battaglini) وكليفورد Clifford بنفس المهمة في ايطاليا وفي انكلترا ، في حين قدم بلترامي (Beltrami) ، سنة 1868 ، سائراً على خطى ريمان تفسيراً للجيومتريا الهيبربولية ذات البعدين فوق سطح دائري انحناه سلمي ثابت هو الكرة الكاذبة (Pseudosphère) .

والنمو والتطور اللاحقين في مجال الجيومتريات غير الاقليدية ، يتعلمان بشكل خاص بالأعمال المخصصة بالقضاعات الوهمية الأكثر عمومية . وبهذا الشأن تبدو هذه التطورات متأثرة بنظرية الفضاءات عند ريمان وبولادة علم التوبولوجيا وكذلك بتقديم نظرية المجموعات وتطبيقاتها في مجال الفيزياء الرياضية .

ومن المسائل الاساسية التأكيد على القيمة المنطقية لهذه الجيومتريات . واستقلالية المسلمة الخامسة في مواجهة البديهيات التي سبقت (هذه المسلمة) ، وكأنها حدث سلمي ، من شأنه ، في نظر البعض جعلها موضع اعادة نظر . وبدت حجة لوباتشفسكي اكثر اقناعاً حيث استندت الى التماسك العام في مجال التريغونومتريا الهيبربولية او الى تأويل الجيومتريات غير الاقليدية ذات البعدين فوق سطوح ذات انحناء ثابت .

في سنة 1871 لاحظ كلين Klein ان هذا التمثيل لا ينطبق الا على قسم من السطح ، فقدم برهاناً حاسماً مبنياً ان الانعاط الثلاثة من الهندسة يمكن تصورها على صورة الهندسة الاسقاطية بفضل التعريف الكلي (نسبة الى كيلي Cayley) للمقاييس المرتبطة بمحروط اساسي (او مطلق) ، منه نشق محيزات الجيومتريات البارابولية (الاقليدية) والهيبربولية ، والاهليلجية البضاوية . ووسمت هذه التبريرات فيما بعد حتى شملت الفضاء ذا الابعاد الثلاثة . ونشير ايضاً الى التفسير الممتاز للجيومتريا الهيبربولية ذات البعدين الذي قدمه هنري بوانكاريه H . Poincaré . بمناسبة اعماله حول الدالات (Fonctions) الغوشية .

وحى ذلك الحين كان الرياضيون يقبلون بصراحة ما ان توضح الجيومتريا الكلاسيكية الصفات الحدية حول فضاءنا وان تصف الخصائص التي تميز الفضاء الممدد الذي هو مركز الظاهرات الفيزيائية . اما الآن فمن المهم معرفة اية جيومتريا تتطابق فعلاً مع فضاءنا الفيزيائي . ولهذا كان يكفي ، من حيث المبدأ ملاحظة ما اذا كان مجموع زوايا المثلث تساوي او لا تساوي زاويتين قائمتين .

ولكن بالرغم من ان القياسات الجيومترية والفلكية المحققة منذ « غوس » لم تتح العثور على الفرق القابل للقياس ، فإنه لا شيء يثبت ان عمليات أكثر دقة يمكن ان توضح مثل هذه الفروقات .

وقد تأثر هلمولتز Helmholtz بأن واحد ، بافكار ريمان ، وبيعض المعتقدات الفلسفية ثم ببحوثه الخاصة حول البصريات الفيزيولوجية . ويُعيد (1868) ، حاول ، من خلال مقالة مشهورة عنوانها « ناتساكن ... » ان يقيم جيومتريا الفضاء الفيزيائي على أربع مسلمات ذات منشأ تجريبي ، متعلقة بالحركات ومعتبرة كتحويلات دقيقة في منطقة من الفضاء .

وقد استطاع العثور على التعبير ds^2 الذي وضعه ريمان ، فظن انه يستطيع حصر الجيومتريا العامة الاقليدية وغير الاقليدية حول الفضاء . واوضح « كلين » هذا المفهوم بفضل نظرية الزمر . وفي سنة 1886 قدم لي (Lie) وهري بوانكاريه تحسينات مهمة على نظام هلمولتز ، عن طريق النظر في المجموعات المتولدة بواسطة التحويلات اللامتناهية الصغر . واكمل هيلبرت هذه النقطة في كتابه « غراند لاجن در جيومتري » (1899) .

الجيومتريا ونظرية الزمر : بتأثير من بونسيلي (Poncelet) والمدرسة الاسقاطية احتلت التفسيرات الجيومترية مركزاً مهماً في دراسة مسائل عديدة ولم يتدخل تقييم دورها الا في القسم الثاني من القرن على اثر الدراسة المعمقة للتحويلات الاسقاطية وتطبيق اللامتغيرات ونظرية الزمر على التاويل النبوي للبناء الجيومتري .

والتمييز الذي ادخله « سونيلي » بين الخصائص الوصفية (او خصائص الموقع) والخصائص المترية ، يدل على جهد اول في عملية البنية (Structuration) ، التي خفت اهميتها بفعل التقليل من أهمية الدور الحقيقي للنقاط الدورانية . وقدم لاغير (Laguerre) ، في سنة 1853 عنصراً جديداً ، وذلك حين ربط مقياس الزاوية بالعلاقة اللاتوافقية بين اضلاعها وبين مستقيمين متساويي الخصائص من منشأ واحد (مستقيمات تتجمع في ذروتها بالنقاط الدورانية) . بين كيلي Cayley (سيكس ميمر اون كنتيكي 1859) ان الخصائص المترية في رسم e هي الخصائص الاسقاطية للرسم f ، المكونة من f ومن النقاط الدورانية . وبعد ابدال هذه النقط ، المعتبرة مثل مخروط متنكس تماسياً ، بمخروط مطلق ، حصل كيلي على مترية اسقاطية عامة ، ولكن التوجه التحليلي الخالص في بحوثه منعه من تقدير أهمية هذا المخروط . واتاح انتشار الجيومتریات غير الاقليدية ، وانتشار اعمال ريمان لبرتامي (1868) وخاصة لكلين ان يستعملا التريبات الكيلية كعنصر تحليل للبناء الجيومتري ولتاويل الجيومتریات غير الاقليدية .

وحملت المعرفة الكاملة لنظرية اللامتغيرات ، والنظرات الصائبة حول دور نظرية الزمر العالم فليكس كلين Felix Klein (1849 - 1925) على وضع تركيبة بنوية واسعة جداً . فقد بين في خطبته الشهيرة الافتتاحية التي القاها سنة 1872 التي عرفت باسم برنامج ابرلنجن programme d'Er-langen مختلف النظريات الجيومترية ومختلف ادارات البحوث بواسطة زمر التحويل المطابقة لها . ولما كانت كل جيومتريا هي نظرية اللامتغيرات بالنسبة إلى زمرة تحويلات خاصة ، فقد بدا

التباران التركيبي والتحليل في مجال البحث الجيومتري كطريقين متلاقين يتيحان التوصل الى ذات الحقيقة ضمن او من خلال لغات مختلفة .

ان البنية الاجمالية لبناء الجيومتري تتوافق مع بنية زمر التحولات : ان الجيومتريا الاقليدية هي دراسة اللامتغيرات في الزمرة الترية والجيومتريا الاسقاطية هي دراسة اللامتغيرات في الزمرة الخطية (زمرة التخطاط Collinéation) ، الخ. والتوبولوجيا هي دراسة اللامتغيرات في زمرة التحولات الدقيقة المستمرة النقطية . ان الجيومتریات المصاهرة ، والجبرية او التفاضلية رأّت تحديد غرضها وحدودها ، ثم تكونت بشكل مجالات علمية مستقلة .

وقدمت نظرية الزمر ويان واحد تركيبة . لمجموعة البحوث الجيومترية والجيومتريية الجبرية المنفذة منذ بداية القرن مع تصنيف واضح لمختلف النتائج الحاصلة ، وعرف برنامج ايرلنجن Erlangen نجاحاً باهراً ظهر في مختلف مجالات الجيومتريا وتطبيقاتها ، منذ النظريات حول طبيعة الفضاء حتى دراسة متعددات الأوجه المنتظمة (.. Vorlesungen über das Ikosaeder كلين ، 1884) - علم البلر الجيومتري ، الخ . وكان سوفوس لي (Sophus lie) خصماً لكلين في هذه الدراسة ، فاهتم بشكل خاص بزمرة التحولات المتتالية المتتابعة واهتم بشكل خاص بتحويلات التماس التي درس مثلاً عنها بعد 1870 ، وهو التحول الشهير الذي قام به لي والذي يحول مستقيمت الفضاء العادي الى كرات .

اسس الجيومتريا : وباستثناء مسلمة المتوازيات ، كانت مبادئ الجيومتريا الاقليدية ، حتى بداية القرن التاسع عشر ، تعتبر كافية تماماً ، وغالبية الاعتراضات الموجهة الى كيفية تقديم كتاب « العناصر » ، كانت ذات طابع تعليمي اكثر مما هو منطقي .

وخلال القرن عملت مراجعة اسس التحليل على تعويد الرياضيين على الاحصاح المتزايد على الدقة وقد قوي هذا الاهتمام بخلال النصف الثاني من القرن ، بفضل انتشار الجيومتریات غير الاقليدية والنظريات الريمانية مما ادى بالتالي الى تحليل دقيق لمبادئ الجيومتريا الكلاسيكية وبنيتها الاجمالية .

وعلى هذا فان بعض المسلمات المقبولة ضمناً حتى ذلك الحين قد توضحت تماماً : مسلمة الاستمرارية التي صاغها ج . كانتور Cantor وديدين Dedekind ومسلمة ارخيدس (راجع مجلد واحد ، ص 314) التي تبث منها ستولز (Stolz) ، ومسلمات الانتظام وقد اشار اليها غوس Gausse وغراسمن Grassmann ثم م . باش (Pasch) تستخدم لاثبات الاحكام الاخرى او القواعد منطقياً .

الا ان آراء مختلفة قد ظهرت حول منشأ مبادئ الجيومتريا . فبعد ريمان قام هلمولتز ينتقد التصور الكانتي للفضاء ، فأكد بان الاحكام الاساسية في الجيومتريا هي من منشأ تجريبي ، في حين ادى ادخال الفضاءات المتنوعة والمتزايدة العمومية ، ببعض المؤلفين الى اعتبار كل جيومتريا كبناء موضوع بفعل المنطق انطلاقاً من نظام من الفرضيات ، وذلك بمعزل عن كل صورة فيزيائية او سيكولوجية . تلك كانت وجهة نظر كلين وبوانكاريه Poincaré حول القيمة الاصطلاحية للمسلمات . وفي الواقع تداخل

هذان المفهومان في اغلب الأحيان ، على الأقل فيما يتعلق بالجيومتريا البدائية . وعمل تدخل نظرية الزمر التي ابداع كلين في استخدامها ، وتأثير نظر التلامتغيرات ، وتأثير المنطق الرياضي ، ومحاولات البهنة في الحساب ، كل ذلك وجه أيضاً الجيود المختلفة المبذولة على اثر باش (Pasch) من اجل عرض الجيومتريا بالشكل المنطقي الاكثر ارضاء . ونذكر بعملية بهنة الجيومتريا الاسقاطية وابراز - من قبل كلين ومن قبل هيلبرت - الدور الخاص الذي اعطي لقواعد المثلاث المتماثلة التي وضعها ديزارغ (Desargues) وسداسي باسكال (Pascal) واهتم ج . بينو . (G . Peano) الذي اعطى سنة (1888) رسالة عن الحساب الجيومتري عند غراسمان Grassmann وعن قواعد المنطق الاستخراجي ، اهتم بدوره بمبادئ الجيومتريا . وركز اهتمامه على طبيعة العناصر المستعملة ، وبذل جهده من أجل تحليل المسلمات وتحويلها الى مفاهيم أولية ثم تضيق . الى اقصى حد - عدد هذه المفاهيم ، مع مراعاة استقلاليتها (1889 , I Principii di geometria Logicamente esposti) . وساهم تلامذة بحماس في هذه البهنة للجيومتريا ، وكان بينهم م . بيرى (Pieri) وكذلك ش . فيرونيز (C . Veronese) الذي وضع اول جيومتريا غير ارخميدية (1891) .

وفي سنة 1899 قدم دافيد هيلبرت (1862 - 1943) في كتابه « غرانداجن در جيومتري » (Grundlagen der Geometrie) تركياً جيداً للنتائج السابقة وكذلك عرضاً لبحوثه الخاصة حول اساس الجيومتريا .

وتفادى هيلبرت اي رجوع إلى صور خاصة محددة ، واكتفى بادخال « ثلاثة نظم للاشياء التي سماها نقط ، ومستقيمات وسطوح . هذه الاشياء ذات الطبيعة المهمة أرضت بعض العلاقات ، معبراً عنها بواحد وعشرين مسلمة ، صُنفت ضمن خمس مجموعات : انتهاء (8) ، رتبة او سلك (4) معادلة او موافقة (6) ، مسلمة حول التوازيات ، واستمرارية (2) . وحرص هيلبرت بشكل خاص على استقلالية وعلى عدم تناقض هذه المسلمات فرغب بأن تكون اساساً كافياً من أجل إعادة تكوين البناء الجيومتري ، فقط بواسطة قواعد المنطق والحساب ، وكل من هذه النتائج الحاصلة كانت قابلة للترجمة الحرة اما باللغة الجيومترية التقليدية واما بشكل تحليلي .

وبواسطة هذا العرض النادر الواضح والذي عرف نجاحاً باهراً كان هيلبرت ملهم المدرسة التبديعية ، في القرن العشرين . ولكن ضخامة العمل المحقق كانت بحيث لم يكن بالامكان لأول وهلة رؤية المصاعب المحلولة . ففي حين ادخل هيلبرت ، على الطبقات المتتالية لكتابة غراندا لاجن (1899 , 1903 , الخ) تصحيحات على العرض الاساسي ، عمل العديد من الرياضيين بدورهم في سبيل هذا الجهد التبديعي الذي تطور بخلال القرن العشرين .

3 - تجهد الجيومتريا التحليلية

امام هذا النهوض الرائع في الجيومتريا التركيبية ، عرفت الجيومتريا التحليلية أيضاً توسعاً ، ورزاً ، وسم على التوالي بطابع المدرسة الفرنسية . وبالدور المسيطر بلوكر Plücker ، وتدخل الجبر الخطي ، وبادخال الجيومتريا المنتظمة والفضاءات المتعددة الاحجام ، ونهوض مواز في الجيومتریات ، الجبرية والتفاضلية .

المدرسة الفرنسية من مونج **Monge** الى بويليه **Bobillier** : ويتأثر من مونج تابع العديد من الجيومترين الفرنسيين في العقود الأولى من القرن التاسع عشر تجديد المناهج والمضمون في الجيومترية التحليلية - حتى ان العبارة « جيومتريا تحليلية » التي ادخلها لافروا سنة 1797 قد استعملت لأول مرة ضمن عنوان لكتاب وضعه لوفرنسو **Lefrançois** سنة (1804) . وادخل هذا العلم في برامج مدرسة بوليتكنيك ادى الى نشر كتاب «تطبيق الجبر على الجيومترية» (1802) حيث قدم مونج وهاشيت **Hachette** عدداً من النشاج الجديدة حول تحول الاحداثيات وتصنيف التربيقات وكذلك سلسلة من الكتب الحديثة في الجيومترية التحليلية السطحية (لافروا 1798) ؛ بوسان **Puissant** 1801 ، لوفرنسو **Lefrançois** (1801) ؛ بيوت **Biot** (1802) ؛ الخ . ، وعالج العديد من الرسائل وضعها كل من : بريانسون ، وليفت ، ودوين ، وهاشيت ، ودانديلين ، وجرجون ، وكوشي ، ولامي ، وبويليه ، الخ . . جميعهم عالجوا تغيرات عماور الاحداثيات ، وخصائص المنحنيات والسطوح من الدرجة الثانية والمناهج العامة في الجيومترية التحليلية ، في حين بذل بعض المؤلفين بعض الجهود ، على مثال مونج في المحافظة على وجود تعاون وثيق بين الطرق التركيبية والتحليلية ، وفي حين قام آخرون بتبيين اسبقية وجهة النظر هذه الاخيرة ، مثال ذلك جرجون الذي اكد ، بمناسبة بناء دائرة ذات تماس مع ثلاث دوائر معينة او بناء كرة ذات تماس مع اربع كرات اخرى ، اكد ان الجيومترية التحليلية تتيح حل مسائل البناء بالشكل الامثل والابسط والأكثر أناقة .

ان « دراسة مختلف المناهج من أجل حل مسائل جيومتريّة » (1818) التي وضعها ج . لامي (1795 - 1870) قدمت تجديدين مهمين : التقييم المختصر (شكل موجز لمعادلة منحني $E = 0$) ومبدأ المضاربات او المضاعفات : المنحني او السطح (= المساحة) ، $mE + m'E' = C$ ، يمر بكل النقاط المشتركة بين المنحنيين أو السطحين $E = 0$ و $E' = 0$ وجهد جرجون ، ابتداءً من 1825 ان يعطي دوراً رئيسياً لمبدأ الثنائية الذي سبق ادخاله في الجيومترية الخالصة . وكان المؤلف الأكثر أصالة هو مؤلف ! . بويليه **E. Bobillier** (1797 - 1832) الذي تابع ضمن الطريق المفتوح من قبل لامي **Lamé** وادخل ترفيمات قريبة جداً من الاحداثيات المثلثية والمربعاتية والاحداثيات المتناسقة .

التوسعات في مفهوم الاحداثيات وعمل بلوكر **Plucker** : ولكن بواسطة المدرسة الالمانية ارتدت هذه التوسعات في مفهوم الاحداثيات مداها الحقيقي ومعناها الكامل . ومنذ 1827 اوضح موبوس **Mobius** في كتابه « باريسانترش كلكول » وك . و . فيورباخ **K. W. Feuerbach** معنى واستخدام الترفيمات الجديدة التي جاء بها بويليه **Bobillier** . واوضح موبوس ايضاً معنى العناصر المثالية التي جاء بها سودبي ، **Poncele** ، واعطى للاحداثيات ، معنى حسابياً خالصاً لا معنى حيومتري .

وكان الصانع الرئيسي لتجدد المناهج في الجيومترية التحليلية هو جوليوس بلوكر (1801 - 1868) الذي كرس اكثر من عشرين سنة من حياته لهذا العمل . وأوضح وهو يستعمل بالشكل الاوسع التقييم الموجز وطريقة المضاربات او المضاعفات والاحداثيات المثلثية والمربعاتية والاحداثيات المنسجمة ، فاعطى بلوكر لمفهوم الاحداثيات معنى شليد العمومية .

ودل المجلد الاول (ايسن ، 1828) من كتابه المسمى « انا ليتش جيومتريش . . » انه باستعمال التقييم المختصر والأنظمة الجديدة في الاحداثيات تستطيع الجيومتريا التحليلية ان تبعد الصعوبات في حسابات الاستبعاد والوصول الى نفس النتائج التي تحقّقها الجيومتريا الخالصة . وفي مذكرات له لاحقة عاد الى هذا السؤال وبين - وهو يتعمق في تقنية الأنظمة الجديدة للاحداثيات - العديد من النتائج التي توصل اليها بونسلي عن طريق الجيومتريا الخالصة ، ان التقييم الموجز والاحداثيات المتجانسة قد اتاحت له التوصل تحليلياً الى مبدأ الثنائية ، وان يوضح وان يعمم مفاهيم المعادلة والاحداثيات التماسية ومفهوم مرتبة المنحنى ، كل هذه المفاهيم التي ادخلها موبوس وبونسلي . وخصص المجلد الثاني من كتاب « Entwicklungen - (1831) هذه المسائل حيث نجد توسع مفهوم القطب ليشمل المنحنيات من المرتبة العليا ، في حين ان كتابه « نظام التحليل الجيومتري » يستعيد دراسة وتصنيف المنحنيات الجبرية ، المتروكة منذ القرن الثامن عشر ، وقد استعمل لهذه الغاية مبدأ جديد ، هو تعداد الثوابت ، مرتكزاً على الصيغ الشهيرة التي وضعها بلوكر Plucker والتي تربط بين المرتبة والطبقة وعدد مختلف اغطا الغراب الفريدة العادية (مثل النقاط المزدوجة ، ونقاط التراجع ، ومماسات الانعطاف ، والمماسات التوقفية) في منحنى من نوع معين . ان تصنيفه للمكعبات وللمربعات مستكمل وموضح في كتابه المسمى « نظرية الجبر المنعطف او المشني » حيث يلح على ضرورة ادخال العناصر اللانهائية والخيالية بنفس عنوان ومستوى العناصر الفعلية . وفي كتابه « نظام التحليل الجيومتري عند روس » (1846) طبق الافكار والاساليب الجديدة في دراسة المساحات والمنحنيات في الفضاء .

ورغم القيمة الاكيدة في عمل بلوكر ، فقد اثار هذا العمل بعض الاعتراضات وخاصة اعتراضات شتاينر وجاكوبي . وعندما اصبح بلوكر ، في سنة 1847 استاذاً للفيزياء في بون تخصص بعدها لهذه المادة ، فلم يعد الى الجيومتريا التحليلية الا في اواخر سني حياته . والتيار الحديدي الذي بعثه بلوكر ، استمر بشكل خاص في ألمانيا وفي انكلترا .

دراسة المنحنيات والسطوح الجبرية : في حين ان بلوكر لم يستعمل المحددات ، لجأ . هس (1811 - 1874) الى الاكثار من استعمال هذا التقييم وطبق أيضاً نظرية الاشكال الجبرية ونظرية اللامتغيرات من اجل تنظيم التعليقات في الجيومتريا التحليلية ، وقدم النتائج التي توصل اليها بلوكر بأسلوب بسيط وانيق ، واضعا التعادل بين نظرية المعادلات الجبرية ونظرية المنحنيات والسطوح وكذلك تقيم الاحداثيات المتجانسة شكلها النهائي . وادخل استعمال « الهي » وحسن دراسة المنحنيات من الدرجة الثالثة وبعض الغراب الفريدة وعرف كتابه حول الجيومتريا التحليلية القضائية (1861) وكتابه حول السطح (1865) نجاحاً واسعاً جداً .

وفي بريطانيا تابع كيلي Cayley أيضاً الطريق الذي فتحه بلوكر ولكنه استعمل بشكل واسع معطيات الجبر الخطي وحملت اعماله العديدة حول تحولات الاحداثيات والتربيعات والسطوح من الدرجة الرابعة طابع عبقرية الجبرية الفذة . وقد عمل مع سالون Salmon على تعميم صيغ بلوكر بحيث شملت المنحنيات الجبرية في الفضاء والسطوح الجبرية . تذكر أيضاً أعمال ماك كولاف Mac

Cullagh حول التربيعةات ، وكتب ج . سالون الشهيرة التي ساهمت بشكل ضخم في نشر المناهج الجديدة التي نشر عنها شيليني Chelini مقتطفات في إيطاليا . وبعد سنوات 1860 اختلط تطور الجيومترية التحليلية تماماً بتطور الجيومترية الجبرية فلم يعد بالإمكان فصلها . وسوف ننظم لائحة مختصرة نأهم الأعمال التي خصصت بخلاف القرن لبعض أنماط المنحنيات والسطوح الجبرية .

وكانت نظرية المخروطات والتربيعةات على علاقة بتقدم الجيومترية الاسقاطية ، وكانت موضوع العديد من الأعمال التي دفعتها نحو تقدم سريع ، مع الالتزام بنموذج نظرية الأشكال التربيعةية التي اعطاها اي لنظرية المخروطات اناقة اكيدة . وعلى هذا امتد تصنيف التربيعةات الذي قدمه اولر (1748) وتوسّع ، بفضل استعمال الاحداثيات المنحنية ، من قبل مونج وهاشيت (1802) ثم استكملت من قبل كوشي (1826) ومغنوس Magnus (1837) اللذين استخدما السطوح ذات النقاط المزدوجة ، ثم اكملت من قبل بلوكر الذي ادخل العرض بشكل احداثيات سداسية كما ادخل فكرة الطبقة ، واخيراً وسعت بشكلها الحديث من قبل هس (1861) الذي أوضح الدور المهم المعطى لمحدد التشكل التربيعةي للقرن ، والمعطى لصغرياته من المرتبة الاولى والثانية .

ان السطوح من الدرجة الثالثة قد اجتذبت بدورها العديد من الجيومترين ومنهم كيلى وسالون وكريموننا وكليش (Clebsch) وجوردان Jordan ، وكلي Klein ، وسريوشي Briochi ، و ر . ستورم R . Sturm ، وزين (Zeuthen) وش.سيغر C . Segre ، الخ . وبين كيلى وجود مستقيمت فوق هذه السطوح ، مستقيمت حقيقية او وهمية حدد رقمها سالون بـ سبع وعشرين وصنف شلافل Schaffli هذه السطوح سداً لحقيقة هذه المستقيمت التي درس جوردان وكليين وه . وير H . Weber معادلتها من وجهة نظر نظرية الزمر .

ونظراً لهذه الصعوبات الضمنية فقد تأخرت الدراسة العامة للسطوح من الدرجة الرابعة بشكل سي . وبالمثل ان بعض الانماط الخاصة كانت موضوع العديد من الأعمال اما نظراً لخصوصياتها الحيومترية ، واما بالنسبة الى دورها في الفيزياء الرياضية : دوائر ديون ، و سطح موجات فرنل Fresnel ، وكلها كانت موضوع العديد من البحوث ، وكذلك سطح شتاينر (1844) ، و سطح ويدل Weddle (1850)، و سطح كومر Kummer (1863) . ونذكر اكتشاف نظام ثالث يتعلق بالقطع الدائري للقالب (السطوح المردوجة التماس) والتي وضعها ايغون فيلارسو Yvon Villarceau سنة (1848) تشير ايضاً الى ان السطوح من الدرجة الخامسة ومختلف عائلات السطوح : القابلة للتطور ، أو السطوح المنتظمة ، أو السطوح المقبولة الخ ، كانت موضع العديد من الدراسات والبحوث في النصف الثاني من القرن . ودراسة السطوح المنتظمة افادت ، فضلاً عن ذلك في ادخال نظام جديد من الاحداثيات ادى الى ولادة جيومترية حقة تتعلق بالخط المستقيم .

الجيومترية المنتظمة : ان الحيومترية المتعلقة بالمستقيمتات او الجيومترية المنتظمة قد لعبت دوراً مهماً سواء في مجال البصريات الجيومترية (ضمايم الاشعة الضوئية) أو في الميكانيك (أنظمة القوى) كما في الجيومترية التركيبية والتحليلية والمتناهية الصغر .

ومع ذلك فانه في أواخر القرن الثامن عشر فقط نشر مونج الاعمال الاولى المنهجية حول أسر

المستقيمت المتعلقة بمقياس ثابت (المستقيمت القابلة للتطوير والسطوح المنتظمة ؛ بين 1771) و 1775) او ذات المعايير الثابتين (كتلة متطابقة من المستقيمت ؛ 1781) وارتأى ادخال أنظمة المستقيمت ذات المعايير الثابتة الثلاثة (مركبات المستقيمت) وذلك في دراسة بعض المعادلات ذات المشتقات الجزئية من الدرجة الاولى (معادلات مونج) . ويعزى التقدم اللاحق في هذه النظرية ، بشكل اساسي الى الرياضيين الفيزيائيين . وقد اتاحت الاعمال المهمة في البصريات الجيومترية التي نشرها مالوس (1808 - 1811) ودوين وجرجون وكيتلي وهاملتون (وهي اربع مذكرات مهمة نشرت بين 1828 و 1837) وماك كولاف وبلوكر ومنذن الخ . اتاحت تعميق نظرية تطابق المستقيمت . في حين ان دراسة أنظمة القوى ، ادت الى دراسة معقدات المستقيمت ، وخاصة التركيبات الخطية (جيورجيني 1827 ؛ مويوس ؛ شال الخ) .

ان دراسة التغيرات الاسقاطية ودراسة مختلف أنظمة الاحداثيات النقطية او التماسية في الفضاء ذي الأبعاد الثلاثة ، قد اوضحت ، وبذات الوقت مع تناظر الأدوار التي تلعبها النقط والسطوح ، ضرورة النظر الى أي خط مستقيم مرةً كأنه شعاع ترسمه نقطة ، ومرة كمحور حوله يدور سطح معين . ان أباً من الأنظمة المتعلقة بالاحداثيات المستعملة ، لا يتكيف مع هذا المفهوم الثاني ، ولذا فكر بلوكر في تمييز كل مستقيم بناظم خاص من الاحداثيات . وبعد عدة محاولات قليلة الجدوى (1846 و 1864) ، ادخل في سنة 1865 التقييم الذي اصبح بعد ذلك كلاسيكياً ، وهو التقييم المؤلف من ستة احداثيات منسجمة هي l, m, n, x, y, z ، (وهي مركبات من سهم مؤشر ∇ محمول فوق المستقيم ، ومن عزم ∇ بالنسبة الى المنطلق) ، وهذه الاحداثيات مرتبطة في ما بينها بالعلاقة ثنائية الخطية $l\lambda + m\mu + nv = 0$. وفي سلسلة من النشرات اللاحقة استعمل هذا التقييم الجديد سواء في دراسة المتطابقات ، وفي دراسة مركبات المستقيمت وفي جعل الجيومترية المنظمة كما في دراسة أنظمة القوى . ويميز عن بلوكر ، تصور كيل من جانبه ترقياً مشابهاً سنة 1859 ، ولكن فقط بعد نشرات منافسه نشر عنها دراسة متأخرة ولكن رائعة واجمالية شاملة⁽¹⁾ .

ان الاصاله والاناقة في هذا التقييم الجديد قد جذبتا العديد من الرياضيين الذين تابعوا دراسة مبادئ الجيومترية المنتظمة ، ودراسة خصائص المجموعات والمركبات العامة او الخاصة ، او استطلعوا تطبيقها على دراسة حلول بعض المعادلات ذات المشتقات الجزئية ، وعلى البصريات الجيومترية وعلى الستاتيك او التحليل السهمي الاتجاهي .

وساهم اشهر علماء الجيومترية يومئذ في هذا الجهد وهم كلين Klein ، كليش Clebsch ، كومر Kummer ، باش Pasch ، وري Reye ، ور . ستورم R. Sturm . في ألمانيا ، وباتاغلفيني Battaglini ، وسيفري Segre في ايطاليا ، وداربو Darboux ، وهالفن Halphen ، وكونينغ Koenigs ، في فرنسا ، وكيلي Cayley في انكلترا ، ولي Lie في النرويج . وبين كلين ان الجيومترية المنتظمة في الفضاء

(1) الواقع ان موجد الاحداثيات الأربع البلوكرية هو غاسبار مونج الذي بعد ان اعطى عنها موجزاً في سنة 1785 ، عرض لها صورة كاملة في (اوراق التحليل المطبق على الجيومترية لسنة 1795) مستخدماً ايهاها في حل عدة مسائل كلاسيكية في الهندسة التحليلية الاولى ، وهذا يكون بلوكر قد استلهم من هذه الدراسة المنسية بغير وجه حق .

الاسقاطي ذي الابعاد الثلاثة E_3 يمكن ان تفسر من خلال الاحداثيات البلوكزية باعتبارها احداثيات منسجمة في فضاء ذي خمسة ابعاد E_5 ، ومجمل مستقيمت E_5 لها صورة فوق التربيع Q من E_5 .
وأدت الجيومترية المنتظمة أيضاً الى القول بأن كل منحني أو كل سطح يمكن ان يعتبر كمنحني فضائي وبالتالي إلى دراسة جيومتريا الكرات ، أي جيومتريا أنظمة الدوائر ، الخ .

الجيومتريات ذات الأبعاد الكثيرة (n) : بعد 1685 ارتأى « واليس » ان يوسع الجيومتريا بحيث تشمل دراسة خصائص الفضاءات ذات الأبعاد التي تزيد عن ثلاثة . ورأى دالمبير ولاغرانج ، بعد أخذ الزمن كبعد رابع ، امكانية اعتبار الميكانيك كجيومتريا ذات ابعاد أربعة . وأخذ الفيلسوف الألماني ج . ف . هربارت ، بشكل أوسع فكرة واليس ، فأكد على ضرورة اعطاء مفهوم الفضاء عمومية أكبر وأوسع ، وعدم قصر وحدّ عدد ابعاده . وتبنى غراسمان هذا المفهوم في كتابه (Ausdehnungslehre) (1844) وأقام ، انطلاقاً من هذا المفهوم مفهوم البعد المتسع ، وبواسطة رمزية تستيق تصوير الترقيمات التوجيهية والتوترية ، نظاماً جريشاً في جيومتريا الفضاءات التآلفية بالمترية ذات الأبعاد (n) . ولكن مؤلفه الغني والعميق جداً لم يحدث تأثيراً الا في أواخر القرن (الرابع الأخير) في حين ان بعض افكاره قد استعيدت بشكل أسهل تناولاً .

وبعد 1843 ادخل كييلي ، إنما بشكل تحليلي خالص مفهوم التنوع على عدد غير محدد من الأبعاد ، وجاء تأثير حاسم من ريمان الذي قدم ، في مذكرة مشهورة له حول الفرضيات الاساسية في الجيومتريا ، وضمن خط افكار هربارت - من وجهة نظر انشائية وراثية- مفهوم التنوع التفاضلي ذي الابعاد (n) .

مثل هذه التشكيلة تألفت بجمع تشكيلة ذات بعد واحد مؤلفة من عناصر مكونة بذاتها من تشكيلات ذات ابعاد تساوي (n-1) .

وساهم هلمولتز وكلين مساهمة فعالة في نشر الأفكار الريمانية ، ورغم بعض الاعتراضات فان الجيومتريات ذات الابعاد (n) قد استخدمت بشكل واسع ، وخاصة من أجل توضيح خصائص الأشكال الجبرية او التفاضلية ذات المتغيرات التي تزيد على ثلاثة .

وفي حين كشف نيوكمب Newcomb ، وشلافي ، وكلين ، وليشتر ، وكلين الخصائص المترية في هذه الفضاءات ، فقد اهتم سيغري Segre وكستلنوفو Castelnuovo ، بالتنوعات من الدرجة الثالثة الغارقة في فضاء ذي ابعاد أربعة ، وقام كتاب آخرون بدراسة تحركية ديناميكية هذه الفضاءات ، ان القرن العشرين عرف توسعات جديدة وجريئة في مفهوم الفضاء ، فبين بالتالي خصب افكار ريمان وصحتها .

4 - اصول الجيومتريا الجبرية

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر عمل تلاقي التيارات المتنوعة في البحث على تجديد مناهج دراسة المنحنيات والسطوح الجبرية مما أثار النمو السريع لمجال علم جديد هو الجيومتريا الجبرية المرتبطة بأن واحد بالجيومتريا التركيبية والتحليلية ، وبالجبر الخطي والعام ونظريات الدالات .

تدخل نظرية الدالات : في القرن الثامن عشر اوضح ماكلورين Maclaurin مفهوم المنحني الموحد النسق . مثل هذا المنحني مكون بشكل ان الاحداثيات حول نقطته الجارية معبر عنها تبعاً لدالات جذرية في معيار قياسي معين ؛ انه منحني جبري سطح يمتلك العدد الأقصى : $N = (n - 1) \cdot 2 / (n - 2)$ ويملك نقاطاً مزدوجة متوافقة مع درجته n : مخروطي ، مكعب ذو نقطة مزدوجة ، مربع ذو ثلاث نقط مزدوجة الخ .

وأناحت قاعدة آيبل Abel (1829) الشهيرة حول التكاملات الايبلية ⁽¹⁾ توضيح هذه الفكرة وذلك باعطاء كل منحني جبري عدداً كاملاً بميزا P ، يسمى نقصاً أو نوعاً ، ويساوي N ناقص N' حيث N' هو العدد الفعلي للنقاط المزدوجة ، مع الأخذ في الاعتبار احتمال وجود نقاط مفردة . وتشكل المنحنيات المنسقة المنحنيات من النوع صفر .

وجدد ريمان Riemann المسألة بفضل ادخاله السطح ذا الوريقات m ، والمسمى سطح ريمان ، والمقرون بكل منحني جبري سطح غير قابل للاختزال (C) ومعادلته تساوي $f(x, y) = 0$ من الدرجة m عند y (1851) .

وفي مذكرة حول نظرية الدالات الايبلية (1857) بين انه بالامكان تحقيق توحيد شكل الدالة $y(x)$ بواسطة دالة P الى P متغيرات ، وان تكون كل المنحنيات من نفس المرتبة اي انها تستطيع ان تكون متجاوبة مع تقير مزدوج التجذر وان تمتلك هذه المنحنيات التي هي من نفس الصنف نفس السطح سطح ريمان وبالعكس . وهذا السطح يساوي توبولوجياً اسطوانة تتضمن عدداً من الثقوب مساوياً لنوع P من المنحني C ، نوع يبدو هكذا وكأنه ثابت مزدوج الجذر (وقد اثبت هذه الواقعة جبرياً من قبل كليش (Clebsch) وغوردان ، واثبت جيومترياً من قبل كرمونا وبرتيني وزين) هذه النتيجة المهمة المستخدمة في تصنيف التكاملات الايبلية كانت أيضاً في أساس اعمال مختلفة منها خرجت الجيومتريا الجبرية الحديثة .

وكان كليش (Clebsch) الذي اكتشف بعد 1857 بعض تطبيقات جيومتريية للدالات البيضاوية ، واحداً من الأوائل الذي طوروا عمل ريمان . في سنة 1864 ، بين كليش (Clebsch) ان الاحداثيات من نقطة جارية في منحني من نوع واحد يمكن ان يعبر عنها بدالات بيضاوية في القياس المعياري . وهكذا استطاع ان يفسر وان يوسع أو يكتشف العديد من خصائص هذه المنحنيات ، وبصورة خاصة درس نقاط الانعطاف Inflexion واكتشف نظرية التماس بين المكعبات التي ليس لها نقطة مزدوجة . وكتابه : « نظرية الدالات الايبلية » (1866) والذي كته بالمشاركة مع غوردان ، يعتبر دليلاً على دخول نظرية الدالات في مجال الجيومتريا الجبرية .

وأكمل هنري بوانكاريه ، بعد (1881) النتائج التي حصل عليها ريمان وكليش (Clebsch) . وقد بين هذا الشأن ان الاحداثيات حول نقطة جارية فوق خط منحن جبري من مطلق

(1) هذا الموضوع راجع دراسة ج إيتارد J. Itard في الفصل القادم .

نوع ، يمكن ان تتوضح بواسطة دالات ذاتية الاشكال (فوشية وكلينية) في متغير واحد معقد . وقد تضمن هذا الحل لمسألة توحيد الشكل ، شكل الدالة الجبرية ، بعض الثغرات التي لم تحل الا في سنة (1912) من قبل كوب (Koebe) ومن قبل بوانكاريه (Poincaré) . وطبق العديد من الرياضيين ومنهم ج . همبرت (G. Humbert) هذه النتائج في البحث عن النتائج الخاصة ، دون اجمال دراسة أكثر تفصيلاً لعائلات المنحنيات ذات الشكل القابل للتوحيد بواسطة دالات معروفة مثل الدالات فوق الاهليجية .

التحويلات المزدوجة الجذر : ان أهمية الدور الذي لعبته في الجيومترية الاسقاطية التحويلات او التغيرات المتماثلة شكلاً (الهوموغرافية) حفزت علماء الجيومترية في القرن التاسع عشر على التطلع الى تغييرات ذات أنماط متنوعة قابلة للتطبيقات المتنوعة .

فالمعكس أو القلب (Inversion) ، والذي عرفه سابقاً بابوس (Pappus) والذي يحتل مركزاً مهماً في الجيومترية الاولى الحالية ، قد رُدّ اليه الاعتبار من قبل كيتلي (Quelelet) . وشتاينر (Steiner) وبلافيتيس (Bellavitis) و . طومسون (W. Thomson) الخ . وتشكل الخصائص العديدة والمهمة المقرونة بهذا القلب الجيومترية التطابقية (Anallagmatique) . ويدخل القلب في أسرة التحويلات الدائرية التي (اي الاسرة) دُرست ضمن السطح من قبل موبوس « Mobius » (نظرية كريزفرواند شافت (1855) Kreisverwandshaft) قد وسعت بحيث شملت الفضاء من قبل ليويل ولا غير وداربو .

وهناك غط آخر من التطابقات النقطية المسطحة المتقابلة (Biunivoques) هو غط التغيرات الرباعية ، وقد دُرست سنة (1832) من قبل ماغنوس (Magnus) . إن هذه التغيرات التي أشار إلى بعض حالاتها الخاصة ماكلورين (1720) Maclaurin ، وبونسليه Poncelet وشتاينر وبلوكر (Plucker) تطابق عند كل نقطة M من السطح النقطة M' ، وهي نقطة تلاقي المستقيمت المتحولة من M بواسطة علاقتين معيتين .

واول مثل عن التحول المزدوج الجذر من مطلق مرتبة ، قد درس سنة (1858) من قبل دي جونكير . de Jonquières . وفي سنة 1863 عمل الجيومترى الايطالي ليفي كريمونا (1830-1903) على بناء النظرية العامة لهذه التحويلات الجبرية المزدوجة الجذر والمسماة « كريمونية » ، وهو غط أكثر عمومية في التحول التطاقبي في نقط السطح ، باستثناء سلسلة من النقط الاساسية .

واتاحت اعمال قام بها بشكل خاص جيوميرون طليان (كريمونا . Cremona ، برتيني Bertini ، كاستلنووفو Castelnuovo ، شيسيني Chisini) وانكليز (كايلى ، كليفورد) والماني (كليش Clebsch ونودر Nöther) تصنيف التغيرات المزدوجة الجذر في السطح ، مباشرة دراستها في الفضاء ، والظر اليها بشكل عام كتطابقات حرفية بين متوعتين جبريتين غارقتين في فضاء اسقاطي ذي ابعاد كثيرة العدد . في سنة (1869) بين نودر Nöther ان كل تغير مزدوج الجذر يمكن ان يرد الى حاصل ضرب هوموغرافي والى تحولات أو تغيرات تربيعية . وقد وضحت نظرية الزمر أهمية التحويلات المزدوجة الجذر والتي تشكل الزمرة الرئيسية في الجيومترية الجبرية . وقدم انريكس Enriques

وويمان Wiman نتائج مهمة متعلقة بالزمر المستمرة في التحولات الكرمونية المسطحة .

بدايات الجيومترية الجبرية : ان دراسة فروع المنحنى الجبري بجوار نقطة مفردة ، والتي بدأ بها نيوتن ، وقد عاد اليها من جديد بويزو (Puiseux) سنة (1850) ، ثم طورها ، في ضوء اعمال ريمان وكريمونا كل من لوروث Lüroth ، ونوذر Nother وهالفن Halphen وهـ . جـ . سـ . سميث H . G . S . Smith .

وبين نوذر (1871) ، عن طريق التغيرات المزدوجة التجذير ، انه بالامكان استبدال منحنيات ذات خصائص عالية المستوى بمنحنيات أخرى لا تمتلك الا نقاطاً مضاعفة ذات تماسات متميزة . وتبعاً لذلك استطاعت تعابير بلوكر ان تطبق على المنحنيات الجبرية الاكثر عمومية . وهذه الدراسة هي ذات ارتباط بدراسة زمر النقاط فوق منحنى ، كما هي ذات ارتباط بالسلاسل الخطية التي أدخلها كيلى والتي بشأنها بين كل من ريمان (1857) وروش Roch (1864) قاعدة مهمة جداً . كما أدخلت أيضاً بخلاف نفس الحقبة مفاهيم أخرى عديدة وجديدة : مثل المنحنيات الملحقة ومثل الأنظمة الخطية في المنحنيات المسطحة ، الخ .

وساعدت المذكرة الاستخلاصية التي وضعها آ . بريل وم . نوذر (A . Brill . et) über die algebraischen Funktionen und ihre Anwendung in der Geometrie , (M . Nöther Math. Annalen (1874) مساعدة كبيرة في نشر اسس هذه الجيومترية الجبرية الجديدة .

وبعد 1868 حاول كليش Clebsch ان يوسع هذه الدراسات لتشمل المساحات الجبرية وأشار الى وجود ثابت ، محدد بمكامل مزدوج شبيه بنوع من المنحنى . وكشفت الأعمال اللاحقة عند نوذر وكيلى وزيوتن وكستلنوف تعقيدات المسألة وثبتت وجود نوعين مرتبطين فوق نفس السطح . واكتشفت المدرسة الايطالية وقد اذكاهما كريمونا وبرتيني وك . سيرج وكستلنوف Castelnuovo ثم من قبل انريك Enriques وسيفيري Severi ، بواسطة تأملات جيومترية انيقة ، العديد من النتائج الجديدة ؛ وجمعت هذه النتائج في كتاب « البحوث الهندسية حول السطوح الجبرية » (1893) الذي وضعه أنريك ، وهو أول عرض شامل مخصص لنظرية المساحات الجبرية⁽¹⁾ .

وعلى موازاة هذه الأعمال ، شقت البحوث التي قام بها ي . بيكار E . Picard ، من وجهة نظر تحليلية حول التكمالات البسيطة المرتبطة بالمساحات الجبرية (1885) والبحوث التي قام بها بيكار وبييليفي Painlevé حول السطوح (المساحات) الجبرية التي تقبل المطابقات الذاتية الحذرية (1889 - 1892) فتحت الطريق الى تعاون مثمر بين المناهج التحليلية والجيومترية وضم كتاب « نظرية الدالات الجبرية ذات التغيرين » (مجلدان ، 1897 - 1906) الذي وضعه بيكار وسيمارت Simart ، النتائج المهمة الحاصلة في هذا المجال الجديد الصعب تناول بشكل خاص حيث يقدم التحليل الرياضي للجيومترية الجبرية مساعدة ثمينة وإحياناً غير متوقعة .

(1) وبدأت دراسة المساحة يقرب إحدى نقاطها من قل كوب Kobb (1892) واستكملت من قل بلاك Black (1902) ، في حين ان ب . ليفي B . Levi (1897) وسيفيري عالجوا هذا الموضوع بالطرق الجيومترية .

ان الجيومتريا الجبرية كعلم جديد يربط مختلف القطاعات التي كانت معزولة حتى ذلك الوقت ، قد ارتدت شكلها النهائي الذي أصبح لها في القرن العشرين ، كما عرفت يومئذٍ تطوراً مريعاً .

5 - الجيومتريا اللامتناهية الصغر والتفاضلية :

بخلال القرن التاسع عشر ، تابعت الجيومتريا اللامتناهية الصغر مسارها السريع الذي بدأته في القرن الماضي (راجع مجلد 2، القسم 3، الكتاب 1، الفصل 1). في حين تلقت النظرية الكلاسيكية للمنحنيات وللمساحات تحسينات مهمة، أدى تطور الفروع الأخرى في الجيومتريه وغيرها من المجالات التحليلية إلى تجديد تدريجي في المناهج والطرق وإلى انتشار واسع لهذا العلم الذي انتقل بخلال القرن ، من الجيومتريا اللامتناهية الصغر الكلاسيكية إلى الجيومتريا التفاضلية الحديثة. وقد طبع هذا التطور بثلاثة مؤلفات اساسية هي مؤلفات كل من مونج وغوس وريمان .

مدرسة مونج : كان غاسبار مونج ، في بداية القرن التاسع عشر ، الزعيم غير المنازع للمدرسة الجديدة ، مدرسة الجيومتريا اللامتناهية الصغر، بواسطة تلاميذه من مدرسة بوليتكنيك وبواسطة مريديه . استمر تأثيره طيلة القرن ، مؤثراً أيضاً باستمرار في جيومترين كبار عاشوا في الحقبة بين 1870 و 1900 امثال كلين ولي وداربو .

في حين انتشر جوهر عمل مونج بفضل الطبقات المتعددة (1807، 1809 و 1850) وبفضل كتابه « تطبيق التحليل على الجيومتريا » وبفضل مؤلفات تلميذه هاشيت ولاكروا ، تابعت البحوث المهمة في مختلف السبل التي قِيَّحَتْ جديداً .

ان جدوى الاحداثيات الداخلية (شعاع المتعطف والقرس) في دراسة المنحنيات المسطحة ، ابرزها وأظهرها كارنو Carnot ، ولاكروا Lacroix وامبير Ampère . ووضع سيزارو Césaro دراسة منهجية في أواخر القرن بعنوان (جيومتريا داخلية ، 1896) . في حين حسن لانكري Lancet نظرية المنحنيات في الفضاء (1806 - 1811) ، وتابع و . رودريك O .Rodrigues دراسة خطوط المنحنى (1815) وادخل في نظرية المساحات الصورة الكروية ، التي أصبحت بين يدي غوس أداة فعالة تماماً .

ولكن التلميذ الأول والمباشر عند مونج في الجيومتريا اللامتناهية الصغر كان شاول دوپين Charles Dupin (1784 - 1873) والذي جمعت اعماله في كتاب « تطورات في الهندسة » (1813) وفي كتابه « تطبيقات في الهندسة وفي الميكانيك » (1822) . وبعد ان عرّف ودرس « تدوير دوپين » (1801) ، انجز أول دراسة منهجية للأنظمة الثلاثية المتعامد وفي نظرية المساحات ، ادخل اعتبار الانحماجات المتزاوجة واعتبار المؤثر ، وهو تمثيل بسيط وسهل لتغير اشعة الانحناء في القطوعات العامودية عند نقطة ما ، وعرف أيضاً خطوط التقارب ، وطبق نتائج الهندسة اللامتناهية الصغر على بناء الطرق وعلى دراسة استقرارية المركب وفي البصريات .

عمل غوس Gauss وامتداداته : كان غوس واعياً لضرورة تصور اوسع للجيومتريا واهتم بمختلف المسائل النظرية المطروحة في مجال علم الفلك والجيوديزيا والكرونوغرافيا - وخاصة بمسألة

التمثيل المتطابق لسطح فوق سطح - مما حدا به الى الاهتمام تماماً بمبادئ نظرية السطوح . ويعتبر نشر كتابه (Disquisitiones circa generales superfities curvas) سنة 1827 بداية لظهور نهج جديد بدا خصباً بشكل خاص .

ويمكنه ادخال الاحداثيات المحدوبة u و v فوق سطح S ان يعبر عن مربع العنصر الخطي ds بواسطة شكل تربيعي تفاضلي : $ds^2 = E du^2 + 2 F du dv + G dv^2$ (باعتبار E, F, G هي دالات لـ u و v) ثم القيام بدراسة معمقة للمزايا المحلية في S ، وهي مزايا تتعلق فقط بالعنصر الخطي ، وليس بواقعة ان S غارق في الفضاء الاقليدي ذي الابعاد الثلاثة . وبواسطة التمثيل الكروي بين بشكل خاص ان المنحنى الكامل في نقطة ما $1/R_1 R_2$ ، يتعلق فقط بالذالات E, F, G ، ويمتفرعاتها ، ويبقى ثابتاً أثناء تحولات اشكال السطوح المرنة غير القابلة للتمدد .

هذه الطريقة ذات الفعالية الكبيرة والتي جددت مبادئ نظرية السطوح استعملها غوس في الدراسة النظرية للجيويدزيات والمثلثات الجيويدزية كما استعملها في بعض التطبيقات (1843- 1847 Untersuchungen über Gegenstände der höheren Geodäsie) .

وفي المانيا ظهر تلامذة غوس الاوائل ، فاهتم مندن Minding بشكل خاص بالمنحنى - الجيويدزي (1830) كما اهتم بانطباقية سطح ما على آخر ، واهتم بالسطوح ذات المنحنى الثابت . ونشر جاكوبي نظرية غوس في تعليمه ، ثم مزجها مع بحوثه الخاصة حول الدالات الايبلية ، فنجح بشكل خاص بدمج الخطوط الجيويدزية من الشكل البيضاوي . وبين تلميذه ف . جواشيم ستال F . Joachimsthal قاعدة انيقة حول الخطوط المنحنية المسطحة في حين عمق ج . ف . غرونر J . F . Grunert وه . ر . بلتزر H . R . Baltzer المظاهر المتنوعة لنظرية منحنى غوس .

إن التطورات اللاحقة التي دخلت على نظرية غوس ظهرت في فرنسا تحت تأثير الفيزياء الرياضية . وانه ، بهذا الشأن ، ومن أجل تطبيقات نظرية التمدد (المطاطية) والفيزياء الرياضية ، وسع لامي Lamé استخدام الاحداثيات المنحنية فاضلها الفضاء ذي الابعاد الثلاثة (1837) وادخل بعض المعايير الثابتة (بارامتر) التفاضلية التي ظهرت أهميتها عند انتشار نظرية الثوابت في مجال الهندسة التفاضلية . ان نظرية التمدد (المطاطية) أيضاً هي في أساس اعمال باري دي سان فنان (1846) حول منحنيات الفضاء .

وابتداءً من سنة 1840 قامت مدرسة جديدة موسومة بالتأثير المضاعف ، تأثير مونتج وغوس وجاكوبي . وأخذت هذه المدرسة تنشر بحوثاً نظرية مهمة في مجلة الرياضيات الخالصة والتطبيقية عند ليوفيل . وتابع ليوفيل Liouville بنفسه بحوث غوس وجاكوبي حول المثلثات الجيويدزية ، وحول الاحداثيات الجيويدزية القطبية ، وحول التمثيل المطابق ، في حين ادخل و . بوني O . Bonnet مفهوم المنحنى - الجيويدزي ، ودرس السطوح الأصغر والأنظمة الثلاثية المتعامد ثم تطابقية السطوح . وكانت هذه المسألة الأخيرة هي أيضاً موضوع دراسات وانغارتن Weingarten في ألمانيا ، وبور Bour في فرنسا وكودازي Codazzi في ايطاليا .

ونشر أخيراً إلى الصيغ الشهيرة حول المنحنى وإلى جدول المنحنيات اليسارية المكتشفة بشكل مستقل من قبل ف . فرنيت F. Frenet وج . آسيرت J. A. Serret سنة 1847 و 1851 .

وابتداء من سنة 1850 دخلت إيطاليا دخولاً رائعاً في مجال الجيومتريا اللامتناهية الصغر بفضل ميناردي Mainardi وبفضل مجموعة من الجيومترين الشبان ذوي الموهبة : وهم بريوشي Brioschi وكريجونو Cremona وكودازي Codazzi الخ .

ريمان والجيومتريا التفاضلية : بذات الوقت اعطى ريمان دفعةً جديدةً لبحوث الجيومتريا اللامتناهية الصغر وذلك حين وسع بشكل ضخم مجال هذا العلم وحين جند في مادته .

وفي أطروحته الشهيرة حول « الفرضيات التي تستخدم كقاعدة أو أساس للجيومتريا » التي نوقشت في غوتنجن Gottingen سنة (1854) ولكنها نشرت فقط سنة 1868 ، بعد موته ، وضع ريمان Riemann أسس الجيومتريا التفاضلية الحديثة وذلك عندما باشر دراسة خصائص التنوعات التوبولوجية ذات العدد غير المحدد من الأبعاد . وتأثر ريمان بأن واحد بنظرية السطوح التي قال بها غوس وأعماله الخاصة في الفيزياء الرياضية ، يعرف مَرِج المسافة بين نقطتين متقاربتين جداً من هذا النمط بواسطة شكل تربيعي إيجابي هو التالي : $\sum_{i,j} dx_i dx_j (i, j = 1, 2, \dots, n)$

وبين كيف يمكن قياس انحناء هذا السطح أو النمط ، ثم اهتم بشكل خاص بأنواع المنحنى الثابت ، وأثار إمكانية تأويل الجيومتريا عبر الأقليدية المسطحة بواسطة الجيومتريا المتعلقة بالسطوح ذات المنحنى الثابت .

في هذه المذكرة عرض ريمان أيضاً مفهوماً آخر ثورياً . في حين أن الفضاء كان يعتبر حتى ذلك الحين ككيان قائم بذاته ، ارتأى ريمان إمكانية تفاعل بين الفضاء والأجسام الغارقة فيه . هذه النظرية ، التي طورت في ما بعد من قبل هلمولتز Helmholtz وكليفورد Clifford ، سوف تجد مبررها الكامل في أعمال الفيزياء الرياضية في القرن العشرين .

وفي حين كان ريمان يبسط مبادئ الجيومتريا التفاضلية على عدد من الأبعاد أخذت أفكار غراسمان حول الجيومتريا الأولية الأقليدية والمشابهة لأبعاد كثيرة تزداد شهرة ، وكذلك الطرق الرمزية المقرونة بها . وفائدة هذه الطرق في حقل الجيومتريا التفاضلية ، برزت من خلال الشكل الجيومترتي الذي اعطاه غراسمان لمسألة فاف Pfaff . إن دراسة الجيومتريات الريمانية اقتضت تشكيل نظرية حول الأشكال التفاضلية التربيعية . وبدأ ريمان هذه الدراسة في مذكرة نشرت بعد وفاته ، وكان قد كتبها سنة 1861 حول توزيع الكهرباء في الأسطوانات . وبين 1864 و 1868 بين الجيومترتي الايطالي بلترامي Beltrami كيف أن نظرية اللامتغيرات التفاضلية قد اتاحت ربط مفاهيم غوس ولاهي بمفهوم ريمان . وفي سنة 1869 قدم كريستوفل Chrstoffel وليشيتز Lipschitz مساهمة مهمة في هذه النظرية المتعلقة بالأشكال التفاضلية التربيعية . وأتاحت الأعمال العديدة المنفذة في هذا السبيل وضع مناهج للتحليل السهمي التوجيهي ولأساليب الحساب التفاضلي المجرد ، وهذه هي رمزية تتلاءم بشكل خاص مع التعبير عن اللامتغيرات في الجيومتريا الريمانية .

التطورات اللاحقة : ان الانتشار المتزامن تقريباً ، حوالي 1870 للجيومتريات غير الأقليدية ، ولنظرية المجموعات والمفاهيم الجديدة التي وضعها ريمان وغراسمان أدت حتماً الى تمهيد المناهج في الجيومتريا اللامتناهية . الصغر وإلى توسيع مجال هذا العلم الذي تطور بشكل تدريجي نحو الجيومتريا التفاضلية الحديثة .

واستمرت المسائل المهمة المدروسة بخلال الفترة السابقة موضع بحث مستمر : دراسة السطوح ذات الانحناء الثابت (بلترامي Beltrami ، بيانكي Bianchi) السطوح الاقل (اينبر ، شوارز ، لي) الانظمة الثلاثة المتعامد (بوني ، ريبوكور ، داربو) ، تطابقية السطوح وتشوهها (بلترامي ، بيانكي ، غيشار ، لي) الخ ...

ان دور الاعتبارات التوبولوجية في الجيومتريا التفاضلية ثابت بموجب سلسلة رائعة من المذكرات (حول المنحنيات المحددة بموجب معادلة تفاضلية ، 1881 - 1886) حيث درسه هنري بوانكاريه ، بدون تكامل سابق ، خصائص المنحنيات المتكاملة في المعادلات التفاضلية العادية وبشكل خاص طبيعة وسلوك نقاطها المنفردة .

واكثر من ذلك ربما ، طُبع تطور الجيومتريا اللامتناهية الصغر بخلال العقود الأخيرة من القرن التاسع عشر بازدهار نظرية الزمر وتطبيقاتها اكثر من تأثير ريمان . وهذا الحدث ظاهر بشكل واضح تماماً في واحد من المؤلفات الأكثر بروزاً في تلك الحقبة ، هو مؤلف الجيومترى الروجي صوفوس لي Sophus lie (1842 - 1899) . وركز لي مؤلفه على دراسة وعلى تصنيف الزمر المستمرة ، زمر التحول ، وبصورة خاصة تحولات التماس . وكان لي اضافة الى مواهب الهامة جيومترية يجمع أيضاً عبقرية تحليلية باهرة . وهكذا اتاح للجيومتريا التفاضلية ان تستفيد الى حد بعيد من تقدم نظرية المعادلات التفاضلية كما اتاح ذلك أيضاً أمام المشتقات الجزئية . ان جوهر اعماله قد جمعه تلميذه ف . انجل F. Engel و . ج . شيفرز : G. Scheffers في مجموعة من الكتب صدرت تبعاً .

الى جانب لي Lie كانت هناك شخصيتان تسيطران على هذه الحقبة هما : الفرنسي غاستون داربو Gaston Darboux (1842 - 1917) والاطالي لوجي بيانكي (1856 - 1928) . كان داربو تلميذاً غير مباشر لوجن ولريمان ، وجمع مثل لي Lie إلى الالهام النادر حول حقيقة الفضاء ، تحكم ثابتاً بالتقنية التحليلية . وكانت « دروسه حول النظرية العامة للمساحات » (4 مجلدات ، 1887 - 1896) تأليفاً رائعاً لما قدمه القرن التاسع عشر في مجال الجيومتريا اللامتناهية الصغر . وكانت اعماله الأكثر اصالة تتناول الأنظمة الثلاثية المتعامدة ، حول استخدام العناصر الخيالية ، وحول طريقة الثلاثي الأوجه المتحرك . وطبق هذه الطريقة الأخيرة على دراسة العديد من المسائل ، كما فعل مونج و ، لي . كوميسكور E. Combesكور وريبوكور Ribaucour .

وكان عمل بيانكي قريباً من عمل داربو ، سواء بتنوع المواضيع المدروسة أم بأهمية الدور الممنوح للمعادلات ذات المشتقات الجزئية أم بنوعية كتبه التعليمية وخاصة كتابه : « دروس في الجيومتريا

التفاضلية » (1893) (Lezioni di Geometria differenziale) .

ان أهمية اعمال لي وداربس وبيانكي التي تحضت ما قدمه القرن التاسع عشر من انجازات غنية في مجال الهندسة اللامتناهية الصغر ، قد اطلقت الخطوط الموجهة لتطور الجيومتريا التفاضلية في القرن العشرين - هذه الاهمية تدل على حيوية علم فتح تقدمه المتتالي سبلاً جديدة بدلاً من أن يضيّق افقه .

6 - ظهور (التوبولوجيا) :

ان أهمية هذا الفرع من الرياضيات الحديثة الذي نما نمواً سريعاً في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، كان قد استشعر قبل ذلك بقرنين قبل ليبينز (Leibniz) الذي عبر عنه تحت اسم « تحليل الوضع » أو جيومتريا الوضع ، وتتصل به بعض المسائل الشهيرة مثل مسألة « جسور سان بيترسبورغ » (اولر) ، ومسألة العقدة (غوس ، ليستن ، تيت ، كيركان) ومسألة تلوين خارطة الجغرافيا⁽¹⁾ (موبوس ، دي مورغان ، كيبي ، تيت ، آ . ب . كمي) ، وكذلك العلاقة ديكار - اولر بين اعداد الوجوه ، والأضلاع والزوايا في متعدد السطوح .

رغم ان التحليلات السابقة والمتعددة قد استعملت افكاراً طوبولوجية ، إلا ان الطوبولوجيا كعدم لم يبدأ في الظهور الا مع كيبي (1846) ومع ليستر Listing (تأملات حول الطوبولوجيا، (1847) ومع موبوس Möbius الذي أشار الى أول مثل عن السطح الموحد الجانب (شريط موبوس ، 1858) . وأسس ريمان حقاً هذا العلم واعتبره كدراسة للخصائص التي لا تتغير تحت تأثير التحولات المتوافقة حرفاً بحرف المستمرة . وادخل ، بفضل « سطوح ريمان » افكاراً طوبولوجية في نظرية دالات المتغيرات المعقدة وفي كل التحليل (1857) ، ثم اوضح ريمان موضوع وأسس الطوبولوجيا المسطحة كما جل مختلف المفاهيم الأساسية مثل مفهوم الترابط وأشار إلى اللامتغيرات المهمة مثل عدد الابعاد في رسمه أو اللامتغيرات المعروفة تحت اسم « اعداد بيتي » (Betti) . وتوسع العديد من تلاميذه السعي ضمن السبل المفتوحة ، فطوروا نظرية سطوح ريمان او دراسة الخصائص التوبولوجية في متعددات الأوجه . وتأثر التطور اللاحق للتوبولوجية بوجود نظرية المجموعات ، وبفضل تقدم نظرية الأعداد الصحيحة وبفضل دراسة دالات المتغيرات الحقيقية . من ذلك ان العديد من البحوث تناولت مجموعات النقاط ، وتعريف المفاهيم الأساسية للمنحني والمجال (كانتور ، جوردان ، آخ) ، وحول دراسة مجموعات المنحنيات والدالات . ونشير بشكل خاص الى أعمال جوردان ويوانكاريه و هادامار Hadamard في فرنسا ، وإلى أعمال كانتور وكلين وهيلبرت في ألمانيا وإلى أعمال بيتي واسكولي Ascoli في ايطاليا ، وميتاج ليفلر - Mittag Leffler في السويد الخ .

(1) تحديد عدد الألوان الضرورية لوضع خارطة جغرافية ، مهما بلغت درجة تعقيدها ، شكل يكون معه لوناً منطقتين متاخمتين مختلفين دوماً .

الفصل الثاني

التحليل الرياضي ونظرية الاعداد

I - تطور الفيزياء الرياضية

عمل جوزيف فورييه: يمكن ان يعتبر جوزيف فورييه Joseph Fourier (1768 - 1830) كأول فيزيائي رياضي نموذجي حقاً . في دراساته حول انتشار الحرارة ، والتي قام بها قبل 1807 ، والتي جمعت في دراسة قدمت لأكاديمية العلوم سنة 1811 ، ثم في كتاب شهير اسمه « النظرية التحليلية للحرارة » (1822) ، وضع قانون الانتشار المدون بالمعادلة ذات المشتقات الجزئية :

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = a^2 \frac{\partial V}{\partial t}$$

من اجل استكمال هذه المعادلة قدم دالة بواسطة سلسلة تريغونومترية سميت بعده سلسلة فورييه :

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_n \cos nx + b_n \sin nx)$$

وحدد فورييه في بادئ الامر المعاملات في هذه السلسلة ناظراً إلى عدد غير متناه من المعادلات من الدرجة الأولى ذات المجهولات الكثيرة :

واستخدم طريقة ثانية فوضع المعادلات التالية :

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos nx \, dx, \quad b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin nx \, dx$$

$$\text{et } a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \, dx.$$

ودون معالجة هذه المسألة بشكل دقيق جداً ، وضع فورييه Fourier النظرية التي سوف يوسعها فيما بعد ديريكلي Dirichlet (1829) . ووجدت أعمال ديريكلي حول هذه المسألة امتداداً لها في أعمال

ريمان وجورج كانتور . ولعب مجمل هذه البحوث دوراً أساسياً في تعميق المفاهيم الأساسية للتحليل . وكتب فورييه ، وهو يتكلم عن هذا العلم ، في الخطاب الافتتاحي :

« لا يمكن ان تكون هناك لغة أكثر شمولاً وأكثر بساطة ، وأكثر خلواً من الأخطاء ومن الغموض ، أي أكثر أهلية للتعبير عن العلاقات اللامتغيرة بين الكائنات الطبيعية .

ان هذا العلم من هذه الناحية واسع باتساع الطبيعة . وهو يحدد كل العلاقات المحسوسة ، ويقبس الأزمنة ، والأبعاد والقوى والحرارة . ان هذا العلم الصعب يتكون ببطء . ولكنه يحتفظ بكل المبادئ المكتسبة ولو مرة واحدة . وهو ينمي ذاته ويثبتها باستمرار ، وسط الكثير من ظلال الفكر البشري » .

نهضة الفيزياء الرياضية : ان تأثير فورييه ، وهو يمدد الدفعة العميقة التي اطلقتها اعمال لابلاس Laplace ، وتزاوج هذا التأثير مع الجهد المبذول من قبل عاملين فيزيائيين رياضيين من ذوي المكانة الكبيرة : امبير Ampère وبواسون Poisson كان حاسماً بالنسبة الى المدرسة الفرنسية وأهمية دوره كزعيم مدرسة شهد بها بروهت Prouhet الذي أشار الى التأثير العميق الذي أحدثه فورييه على شارل ستورم Charles Sturm : « كتب يقول : لقد تأثر م . ستورم تأثيراً حسناً بهذا المعلم المحترم فكان لا يتكلم عنه إلا بانفعال . وقاد البحوث نحو نظرية الحرارة والتحليل الجبري . وانه - وهو يدرس خصائص بعض المعادلات التفاضلية التي عرّضت في عدد كبير من المسائل الفيزيائية - الرياضية - عثر على قاعدته الشهيرة المسماة : « قاعدة المسلات عند ستورم » ، وقد نشرها سنة (1829) » .

وأننا نجد في هذه الشهادة مثلاً نموذجياً عن التفاعلات بين الرياضيات التطبيقية والرياضيات الحالصة التي بدت فيما بعد كثيرة العدد كثيرة الخصوبة . وتحت تأثير التقدم الموازي في التحليل الرياضي وتحت تأثير مختلف فروع الفيزياء النظرية تدخلت الآلة الرياضية في هذا المجال بشكل دائم التوسع ، وبشكل أعمق في كل المجالات الفيزيائية . هذه النهضة في الفيزياء الرياضية التي انطلقت في القرن الثامن عشر من خلال ولادة الميكانيك التحليلي ومن خلال الهيدروديناميك النظري ومن خلال تقدم الميكانيك السماوي ، هذه النهضة ظهرت أيضاً في مجالات الكهرباء والمغناطيسية والكهرامغناطيسية كما ظهرت في مجال علم البصرات وعلم الشعيرات وعلم الترموديناميك .

عديدون هم الرياضيون الذين عملوا في القرن التاسع عشر على البحث عن كل الهامهم أو عن جزء من الهامهم في مسائل ذات طبيعة فيزيائية . ودون الرغبة في وضع بيان تفاضلي نذكر بعضاً من المهرة البارزين في هذا المجال . في فرنسا ، الى جانب لابلاس وفورييه وبواسون وامبير وكوشي يجب ذكر لامي ، وباري دي سان فينان وهنري بوانكاريه . وفي انكلترا ، يذكر جورج غرين ، وج . ج ستوك ، واللورد رايلي ، ووليم طومسون (لورد كلفن) وماكسويل Maxwell . وفي ألمانيا يذكر غوس وبلوكر وكلويزوس وكيرشوف وهلمهولتز وفي اميركا يذكر ك . ج . و . هيل وس . نيسكومب وج . و . جيس . وفي النمسا اسم ل . بولتزمان . وفي البلدان المنخفضة . هـ . أ . لورنر .

II - تجدد التحليل الرياضي

الأعمال الأولى التي قام بها كوشي في مجال التحليل : ولد أوغسطين كوشي Augustin Cauchy سنة 1789 ، ودخل المدرسة بوليتكنيك سنة (1805) حيث تعلم على بواسون وأمبير وهاشيت وبروني Prony . وتخرج مهندساً مدنياً (جسور وطرق) وعمل حتى سنة 1815 ، ثم نال الشهرة بفضل مذكراته حول الجيومتريا والجبر . ولكن تأثيره كان حاسماً بشكل خاص في مجال التحليل ، وفي التطبيقات على علم البصريات التارجمية وعلم الفلك . وفي سنة 1815 عين استاذاً في مدرسة بوليتكنيك . وبعد ذلك بقليل علم أيضاً في السوربون وفي كولييج دي فرانس . ورفض بين الولاة للحكومة الجديدة ، فغنى نفسه سنة 1830 الى تورينو ثم الى براغ . وبعد عودته الى فرنسا سنة 1838 ، استعاد في ظل الامبراطورية كرسية في السوربون . ومات سنة 1857 .

وكانت أولى اعماله في التحليل تتعلق في التكامليات المحددة المضاعفة ، وهي طريقة تحليلية استعملها كثيراً لابلاس وفوريه وبواسون . وكان اول من لاحظ فيها أهمية نظام التكامل عندما تكون الدالة الواجب استكمالها قد أصبحت لامتناهية في نقط داخلية في مجال التكامل والدمج . وكان لهذا الاكتشاف أن يلعب دوراً رئيسياً في توجيه بحوثه .

وبشكل خاص اضطر الى العودة الى التعريف القديم للتكامل باعتباره مجموعاً لحزبات لا متناهية الصغر ، باعتباره مفهوماً من مفاهيم علماء الرياضيات من القرن السابع عشر السابقين على ليبينز Leibniz . وطيلة القرن الثامن عشر سيطر مفهوم ليبينز حيث لعب الابتدائي أو المتكامل اللامحدود دوراً أساسياً . الا ان أولر Euler كان يستعمل أحياناً ، لحاجات الحساب الطرق القديمة بعد تحسينها من قبله .

مفاهيم الدالة ومفاهيم الاستمرارية : وللوصول الى مفهوم التكامل المحدد ، تخطى كوشي - بعد ان استنار بمناقشات القرن السابق حول مسألة الأوتار المرتجة وباعمال فوريه - تخطى فيما يتعلق بالاستمرارية عن أفكار سابقه المولعين بديمومة الالغورمية التي تتيح استنتاج قيمة الدالة انطلاقاً من قيمة المتغير . وأعلن في كتابه « التحليل الجبري » لسنة 1821 ما يلي :

« عندما تكون الكميات المتغيرة مرتبطة تماماً فيما بينها بحيث انه اذا كانت قيمة احداها معينة ، امكن استنتاج القيم بالنسبة الى كل الباقيات ، من هذه القيمة الأولى ، عندها يمكن تصور هذه القيم المختلفة وقد عبر عنها عادة بواسطة احداها التي تسمى « المتغير المستقل » . أما الكميات الأخرى المعبر عنها بواسطة المتغير المستقل فتسمى دالات هذا المتغير . وبحسب تعبير كوشي في ذلك التاريخ ، تعني كلمة كمية عدداً صحيحاً جذرياً أو غير جذري ايجابياً أو سلبياً .

وقد سبق في سنة 1797 ، للاكروا Lacroix ان اعطى تعريفاً مماثلاً إنما أوسع بشكل واضح : « كل كمية تتعلق قيمتها بكمية أخرى او بعدة كميات أخرى تسمى دالة لهذه الأخيرة (اي تابعة) سواء عرف أو جهل نوع العملية الواجبة الاجراء للوصول الى الأولى من خلال الكميات الأخيرة » . وأضاف لكي يوضح فكرته : « ان جذر مطلق معادلة من الدرجة الخامسة مثلاً ، والذي لا يمكن

وضع تعبير له في الوضع الحاضر للجبر ، يبقى على كل حال تابعاً (دالة) للمعاملات في هذه المعادلة ، لان قيمته تتعلق ، بقيمة المعاملات .

ونشر عايرين الى الامة الكبرى التعليمية التي ارتداها عمل س . ف . لاكروا (يراجع المجلد الثاني) ؛ لقد مارس لاكروا - من خلال كنهه الأولية العديدة ، وخاصة من خلال كتابه « حول الحساب التفاضلي وحساب التكامل » (1797 - 1799 ط 2 ، 1810 - 1819) - مارس تأثيراً ضخماً ليس في فرنسا فقط وفي أوروبا القارية ، بل أيضاً في انكلترا حيث قامت المدرسة الشابة - التي ناهضت بواسطة ر . ودهوس R . Woodhouse ، وج . بيكوك G . Peacock ، وش . باباج ch . Babbage وجون هرشل John . Herschel - ضد التحكم العقيم للتراث النيوتني وانقلبت الى التقنيات الى ترقيمات لينييز Leibniz ، تفتش عن عقيدتها في كنهه .

ان التوسع الاقصى لتعريف مفهوم الدالة العديدة قد حققه ديريكلي Dirichlet بمناسبة اعماله حول سلسلات فورييه (مجلة كريل ، مجلد 4 ، 1829 ؛ مرجع الفيزياء ، مجلد 1 ، 1837) . وبقي هذا التعريف قائماً حتى الآن . وكما فعل ب . بولزانو B . Bolzano (رين اناليز بويس ... 1817) وربما بالاستقلال عنه ، اعتمد كوشي تعريفاً جديداً لاستمرارية الدالات :

« نفترض $f(x)$ دالة للمتغير (x) ونفترض انه ، بالنسبة لكل قيمة من (x) متوسطة بين حدين ، ان هذه الدالة لها دائماً قيمة وحيدة ومحددة . واذا انطلقنا من قيمة ل (x) واقعة بين هذين الحدين ، يعطى المتغير (x) تزايداً متناهي الصفر ، عندها تتلقى الدالة ذاتها تزايد ، الفرق التالي $f(x+a)-f(x)$ الذي يتعلق بذات الوقت بالقيمة الجديدة a وقيمة (x) . بعد هذا تصبح الدالة $f(x)$ ، بين الحدين المخصصين للمتغير (x) ، دالة مستمرة لهذا المتغير ، اذا كانت - لكل قيمة من قيم (x) وسيطة بين هذين الحدين - القيمة العددية [نقول في أيامنا القيمة المطلقة أو القياسية] للفرق $f(x+a) - f(x)$ تنقص نقصاناً غير محدود مع قيمة a . ويقول آخر ان الدالة $f(x)$ تبقى مستمرة بالنسبة الى (x) بين الحدين المعلومين اذا حصل ، بين هذين الحدين تزايد متناهي الصفر في المتغير ، وهذا التغير يحدث دائماً تزايداً لامتناهي الصفر في الدالة نفسها . »

التكاملات المحددة : في كتاب يعود لسنة 1823 ، « مختصر دروس في الحساب اللامتناهي

الصفر » يجدد كوشي $\int_a^x f(x)$ كحد له :

$$S = (x_1 - x_0)f(x_0) + (x_2 - x_1)f(x_1) + \dots + (x_n - x_{n-1})f(x_{n-1})$$

حيث أنّ الدالة $f(x)$ هي مستمرة بين x_0 و x مع $x_0 < x_1 < \dots < x_{n-1} < x$ ، عندما تكون القيم العددية للعناصر $(x_1 - x_0)$ ، الخ . . تنزّع نحو الصفر .

هذا التعريف الجديد للتكامل سوف يكون شديد الخصب . وقد وسعه كوشي فاشمله بعض حالات الاستمرارية ، كما أن ريمان وسعه أكثر (Ueber die Darstellbarkeit einer Funktion durch eine trigonometrische Reihe , Göttingen , 1854) وهو تلميذ ديريكلي في هذا الشأن . وفي سنة 1875 اعطى داربو النظرية « متكامل ريمان » مظهرها النهائي تقريباً . فحيا قدم توسيعان لاحقان

لفكرة المتكامل المحدد من قبل ستيلتجس (Stieltjes) (1894) ومن قبل هنري ليبيغ (Henri Lebesgue) (1902).

السلاسل : مع ذلك وبتأثير من تعاليم لاغرنج ، وبصورة جزئية كردة فعل ضده ، اهتم كوشي بالسلاسل الكاملة ، وأدخل ، كما فعل « غوس » بالنسبة الى السلسلة الجيومترية العالية ، أدخل دقة اكبر ، في مجال كان سابقوه قد استرسلوا بشأنه الى قوة اللانغوريتم ، فسمحوا لانفسهم بحرية اكبر .

كتب في سنة 1821 يقول : «أما فيما يخص المناهج ، فقد سميت الى اعطائها كل الدقة المطلوبة في الجيومترية ، بحيث لا الجأ إطلاقاً الى الحجج المستمدة من عمومية الجبر . ان أسباب هذا الصنف ، وان كانت مقبولة عموماً ، وخاصة عند الانتقال من السلاسل الملتقطة الى السلاسل المختلفة المتفارقة ، وعند الانتقال من الكميات الحقيقية الى التعابير الخيالية ، ان الاسباب المذكورة لا يمكن ان تعتبر ، في نظري ، الا كحواجز من شأنها التحسس أحياناً بالحقيقة ، الا انها تتفق قليلاً مع الحقيقة الواقعية الممدوحة كثيراً في العلوم الرياضية . ومن الواجب الملاحظة ايضاً ان هذه الاسباب تساعد على اعطاء الصيغ الجبرية امتداداً غير محدود ، في حين انه ، في الواقع ، ان غالبية هذه الصيغ تتواجد بصورة فريدة ، في ظل بعض الظروف ، وبالنسبة الى بعض قيم الكميات الموجودة فيها . . . وهكذا وقبل اجراء جمع أية سلسلة ، توجب عليّ ان اتفحص في أية حالات يمكن جمع هذه السلاسل ، أو بتعبير آخر ، ما هي الظروف في تلاقيها ، وقد قررت بهذا الشأن ، قواعد عامة بدت لي انها تستحق بعض الانتباه » .

وعرف كوشي بدقة ثلاثي السلاسل ، ووضع المعايير العامة لها ، وكذلك المعايير الاكثر دقة انما المعسلين ، بصورة خاصة فيما يتعلق بالسلاسل الكاملة المسماة احداها سلسلة دالمبير الذي استعملها في حالة خاصة والسلسلة المسماة سلسلة كوشي . ونذكر بشكل خاص المعيار العام جداً المسمى في أيامنا « متابعات كوشي » ، والذي سوف يكون رئيسياً في مقبل تطور الرياضيات :

ولكي تكون السلسلة ملتقطة ، يتوجب أولاً ان يكون التعبير العام U_n متناقصاً باستمرار في الوقت الذي يتزايد فيه n ، ولكن هذا الشرط لا يكفي ، ويتوجب ايضاً ، بالنسبة الى القيم المتنازلة من n ، ان تكون مختلف المجاميع $U_n + U_{n+1} + U_{n+2} + \dots$ الخ . أي ان تكون مجاميع الكميات

U_n, U_{n+1}, U_{n+2} الخ . مأخوذة ، انطلاقاً من الأولى ، وبأي عدد مراد بحيث تنتهي دائماً الى الحصول على قيم عديدة أقل من أي حد ممكن . وبصورة مقابلة ، عندما تجتمع هذه الشروط تتأمن ملاقة هذه السلسلة .

هذه الأعمال ، المسبوقة ، في سنة 1812 بحوث مماثلة من قبل غوس ، فتحت مجالاً للبحث امتد تقريباً على كل القرن ، حيث يتوجب ذكر آييل وراب سنة 1832 ، ودوهاميل سنة 1839 ، ومورغان ، وجوزيف برتران سنة 1842 ، و. بوني O. Bonnet سنة 1843 ، وكومر Kummer سنة 1835 ، وديني Dini سنة 1867 وب. دي بوا - ريمون P. du Bois - Reymond سنة 1873 ، و. ا. برينشم A. Pringsheim في السنوات الأخيرة من القرن ، وعند هؤلاء الكتاب تصبغ المعايير الكافية للتلاقي اكثر دقة . وقد امكن الأمل بالعثور على حدود بين الحد العام للسلاسل المتلاقية والحد

العام للسلاسل المتفارقة . وقد بدا ان مثل هذا البحث كان عبثاً وان مثل هذه الحدود غير موجودة .

وبالنسبة الى السلاسل ذات الحدود (التعابير) المختلفة الاشارات او الخيالية ، بين كوشي في سنة 1821 انه اذا كانت سلسلة مقاييس تناسب هي بذاتها متلاقية فان السلسلة المقترحة تكون متلاقية ايضاً . وعندها تسمى « متلاقية باطلاق » . وبين ديريكلي Dirichlet ، في سنة 1837 انه إذا كانت سلسلة ما متلاقية باطلاق فان مجموعها مستقل عن نظام حدودها (تعابيرها) . وإذا كانت سلسلة المقاييس متلاقية تلاقياً بسيطاً فان المجموع يتعلق بهذا الترتيب او النظام . وبين ريمان في سنة 1866 ان ترتيب الحدود في مطلق سلسلة متلاقية حقيقية وغير مطلقة التلاقي ، يمكن دائماً أن يُعدّل بحيث تكون السلسلة ذات مجموع معين بصورة كيفية ومبسطة .

لقد درست معايير التلاقي ، تلاقي السلاسل غير المطلقة التلاقي من قبل آبل Abel ، وديركلي Dirichlet ، وكاتالان Catalan ، وديديكين Dedekind ، وكرونكر Kronecker ، وويرستراس Weierstrass .

السلاسل الكاملة : تعتبر بحوث كوشي حول السلاسل العامة تحضيراً لدراسة السلاسل الكاملة التي سماها ، في سنة 1821 « السلاسل المرتبة بحسب القوة المتصاعدة والكاملة للمتغير » وذلك بوضعه نفسه سواء في المجال الحقيقي أم في التعقيد .

وإذا كان الحد العام (التعبير هو : $a_n + b_n \sqrt{-1}$) وإذا كان p_n هو المقياس في المعامل : $a_n + b_n \sqrt{-1}$ ، فهو يبحث عن أعلى حد لـ A من $\sqrt{p_n}$ او ما يسمى اليوم نقطة تراكم السيبي الأكبر في المجموعة . « وتكون السلسلة متلاقية او متفارقة بحسب ما يكون المقياس التناسلي للتعبير الخيالي x اقل أو أعلى من $1/A$ » هذه الصيغة الملحوظة قد اعيد اثباتها من قبل ج . هادامارد Hadamard . ل سنة 1892 .

وإذا كان مجمل اعمال كوشي حول السلاسل وحول السلاسل الكاملة يعطي مثلاً جليلاً عن العرض الدقيق ، فبالامكان ان نكتشف فيها بعض النواقص وكذلك بعض المقترحات الخاطئة مثل : « عندما تكون الحدود المختلفة في السلسلة هي دالات لنفس المتغير Z ، دالات مستمرة بالنسبة الى هذا المتغير ، وفي جوار قيمة خاصة تكون هذه السلسلة بالنسبة اليها متلاقية ، فان المجموع S في السلسلة يكون ايضاً ، في جوار هذه القيمة الخاصة ، تبعاً مستمراً لـ Z » (التحليل الجبري ، 1821) .

ولسد الصعف في عرض كوشي اوجد ستوكس وسيدل وديركلي حوالي 1840 مفهوم التلاقي المنسق .

وباتباع نفس السبيل ، مع دقة اكبر من دقة كوشي ، نشر النرويجي الشاب ، نيلز هنري آبل في سنة 1826 « البحوث حول السلسلة » :

$$1 + \frac{m}{1}x + \frac{m(m-1)}{1.2}x^2 + \dots + \frac{m(m-1)\dots(m-k+1)}{1.2\dots k}x^k + \dots$$

حيث درس الدالة انطلاقاً من تطورها ضمن السلسلة.

« أن السلاسل المتفارقة هي « شيطانية » ، هكذا كتب الرياضي الشاب الى هولبو Holmboë ، وانه لمن العار اقامة نبين عليها . وباستعمالها ، يمكن الحصول على ما نريد ؛ لقد اساءت كثيراً وتسببت بالكثير من الغرائب . » في آخر القرن اذا كان الرياضيون قد تعلموا الاستفادة من هذه (السلاسل الشيطانية) ، فإن تضيق شقة الدراسات وقصرها على السلاسل المتلاقية فقط ، طيلة سنوات طويلة ، لم يكن الا ضرورياً بالنسبة الى تقدم الدقة .

ان سلسلة تيلور Taylor قد لعبت في نظرية الوظائف « الدالات » بحسب لاغرانج Lagrange دوراً أساسياً . ولهذا نفهم الجدوى والاهتمام الذي صبه كوشي Cauchy فيها باكراً . فقد بين أهمية الباقي . وإذا نزع هذا الباقي نحو الصفر عندما يتصاعد عدد الحدود الى اللانهاية ، فإن السلسلة تتلاقى بمجموعها يساوي قيمة الوظيفة او الدالة . ولكن السلسلة يمكن ان تتلاقى دون أن يتساوى مجموعها مع الدالة . واتخذ كوشي مثلاً العلاقة « الدالة » $\frac{1}{x^2}$ التي تثبت صحة هذه الملاحظة .

العدد المركب : الا ان مجد كوشي الاكبر قائم في انه كان ، عن طريق بعض الاكتشافات الرائعة ، احد مؤسسي نظرية المتغير المعقد (المركب) .

في سنة 1821 لم يكن العدد المركب المعقد بالنسبة الى كوشي الا مجرد رمز : « في التحليل ، نسمي تعبير رمزي او رمز كل تركيبة من الاشارات الجبرية التي لا تعني شيئاً بذاتها او التي اليها تعزى قيمة مختلفة عن القيمة التي يتوجب ان تكون لها بحكم الطبيعة . . . ومن بين التعابير أو المعادلات الرمزية المهمة نوعاً ما في التحليل ، يتوجب بشكل خاص تمييز المعادلات التي سميت وهمية أو خيالية . . . وكل معادلة خيالية ليست الا التمثيل الرمزي لمعادلتين داخل كميات حقيقية » .

هذا النص لا يشير اطلاقاً الى تمثيل مقادير معقدة فوق السطح . ومع ذلك ، ومنذ 1799 ، ومن أجل تبين القاعدة الأساسية في الجبر استعمل غوس مثل هذا التمثيل واستعمل نقطة تعادل عدداً ما ، إنما دون دراسة منهجية للتطابق بين العمليات المتعلقة بالأعداد والتحويلات الجيومترية فوق السطح . وقد اعتمد كوشي نفس هذا الموقف في مذكراته الشهيرة ، حول « الكمالات المحددة المأخوذة بين حدود خيالية » (1825) :

« . . . اذا عينا x, y متغيرين حقيقيين ، ورمزنا بـ $s = x + y\sqrt{-1}$ الى متغير خيالي . . . فضلاً عن ذلك اذا افترضنا ان المتغيرين x, y يمثلان احداثيات عمودية وإذا اشرنا ، من أجل الاختصار الى نقطة بواسطة معادلتها . . . » .

في سنة 1821 ، تكلم كوشي عن مقياس تناسب « لعدد خيالي »⁽¹⁾ وهي تسمية ادخلها ارغان Argand سنة 1806 في كتابه « محاولة » حول التمثيل الجيومترى للأعداد المعقدة وهذا المحاولة ارتكزت على نفس المبادئ التي ارتكز عليها ويسل Wessel ، ونشرت سنة 1797 (راجع المجلد

(1) تلعب زاوية عدد مركب ، مع مقياسه دوراً مهماً جداً عند كوشي . إلا أن هذا المصطلح لم يدخل في اللغة الرياضية قبل سنة 1838 .

الثاني). وقام جدل بشأنها ، اشترك فيه . ج . ف . فرانسى F . j وارغان Argand بالذات ، وتدون في حويلات جرجون Gergonne سنة 1814 - 1815 . ولم يكن كوشي يجمل هذا العمل ، وحده حذر المحلل منه ، لمدة طويلة ان يتخذ موقفاً في موضوع التمثيل الجيومترى للأعداد المركبة . وبالإجمال استعانت اعمال كوشي وغوس بتمثيل الأعداد المركزة على السطح ولكنها لم تستعن الا بالخصائص التوبولوجية الثابتة ، في زمن كانت فيه التوبولوجية غير موجودة عملياً كعلم وحيث كان من الواجب اللجوء الى الحدس الفضائى .

وهناك وجهة نظر أخرى ، هي وجهة نظر ويسل Wessel ، سنة 1797 ، ورأى ارغان سنة 1806 ، ورأى موري Mourey ووارين Warren ، سنة 1828 ، وقد انضم الى وجهة النظر هذه كوشي سنة 1849 فأوضح خصائص العمليات حول المركبات ، واعطاها الشرعية نوعاً ما ، عندما ردها إلى التحولات الأولية في السطح : تنقلات ومشابهات .

وهناك موقف ثالث هو موقف بيلافيتى Bellavitis في كتابه « اسلوب في المتعادللات » لسنة 1837 ، (بدىء به سنة 1832) حيث جاء الحساب المتعلق بالأرقام المعقدة ينصب الهندسة . وفي سنة 1833 أوضح هاملتون وجهة نظر وضعها كوشي ، فأسس نظرية الأعداد المعقدة على أساس تعريفها كمزدوجات من الأعداد الفعلية . وفي هذا المفهوم يحزى التعبير « عدد معقد » الى غوس (Theoria residuorum biquadraticorum , 1831) .

وفي سنة 1847 رسم كوشي ، متأثراً بالأعمال الجبرية التي وضعها كومر ، نظرية جبرية خالصة هي نظرية « المعادللات الجبرية » المرتكزة على تطابق المقياس $(x^2 + 1)$ في حلقة متعدّدات الحدود ذات المعاملات الحقة . ولكن ابتداءً من سنة 1849 بدا علناً داعياً إلى التمثيل الجيومترى ، كما فعل غوس في ألمانيا بعد 1831 . وأهمية هذا التمثيل ، في التحليل قد اقمته بصورة نهائية .

وظائف أو توابع المتغير المعقد : لم يحقق القرن الثامن عشر أية دراسة منهجية حول وظائف المتغير المعقد . رغم أن العديد من النتائج المهمة قد حصلت في نظرية المعادللات ومن أجل الوظائف اللوغارتمية والأسية . وقد اكتشف كوشي في هذا المجال اكتشافين كبيرين . من جهة لاحظ ، في سنة 1825 ، انه إذا كانت هناك وظيفة مستمرة ومحددة ، $\int_{\gamma} f(z) dz$ لا تتعلق بالطريق الذي اثناء طوله يتم التكامل (وكان في تلك الحقبة يؤمن ان الوظيفة المستمرة تمتلك في كل نقطة مشتقاً تام التحديد) . فإذا حصل التكامل في طول خط منحني مغلق لا يحتوي داخله على أية نقطة فريدة ، فان المتكامل يكون لاغياً . وإذا وجد داخل المحيط نقطة منفردة فان التكامل يساوي $2\pi iR$ اذا كان R هو بقية في هذه النقطة .

وهذا الاكتشاف مرتبط تماماً بمذكرة سنة 1814 المتعلقة بالتكاملات المتعددة ، وقد نضج في ذهن مؤلفه طيلة سنوات . وقد استمد من « حساب البقايا » جملة من النتائج .

في سنة 1831 ، طبق الحساب على الوظيفة $\frac{f(z)}{z}$ عندما يكون $f(z)$ مستمراً في كل

قيم z الداخلة في منحنى التكامل . والنقطة الوحيدة الفريدة هنا هي نقطة الزائدة x والباقي هو $f(x)$. ومن ذلك المعادلة :
$$\int_{\text{محيط}} \frac{f(z)}{z-x} dz = 2\pi i f(x)$$

وفي الحال استخرج منها كوشي تبياناً لسلسلة تايلور من أجل وظائف المتغير المعقد . وكتب في سنة 1840 ، بهذا الشأن : « من بين القواعد الجديدة . . ومن أكثر القواعد فائدة ، القاعدة التي تنص في الحال على ضوابط (قواعد) تلاقي السلاسل التي يُقدمها تطوير الوظائف الواضحة ، والتي ترد ببساطة قانون التلاقي بقانون الاستمرارية » .

فقد توصل الى ابتكار اداة تحليلية مذهشة . الا أن أسس النظرية تقتضي مع ذلك مراجعة متينة . ولكن قبل تفحص تتابع الأحداث . لا بد من الرجوع الى الوراء .

الوظائف الاهليلجية : منذ 1786 ، اشتغل ليجندر بجد حول المتكاملات البيضاوية ، اي حول المتكاملات غير المحددة للوظائف الحذرية في yx ، حيث يشكل y الجذر التربيعي في متعدد الحدود من x ذي الدرجة 3 أو 4 وبعد مذكرتين اصدرهما في سنة 1786 وفي سنة 1793 احتلت هذه الأعمال القسم الأكبر من كتاب « ثمارين في الحساب التكاملي » (ثلاث مجلدات ، 1811 - 1819) . « والموسع في الدالات البيضاوية والمتكاملات الأولرية » (3 مجلدات 1825 - 1832) . وبعد الحصول على نتائج أولية مختلفة قام ليجندر في سنة 1793 بوضع نظرية عامة حول المتكاملات البيضاوية : مقارنة بين مختلف وظائف هذا النمط ، تصنيف ، واختزال الى ثلاثة اشكال قانونية ، حساب جداولها . أما الاكاملات العديدة التي ادخلها فيها بعد ، وكذلك التطبيقات المختلفة التي توقعها كل ذلك حمله فيها بعد على نشر كتابه الكبير الذي اتاح له تطبيق النظرية الجديدة « تطبيقاً سهلاً يساوي في سهولته نظرية الوظائف الدائرية ، واللوغارتمية » .

الا ان بحوث ليجندر الحارية بعقلية واقعية جداً ، قد جذبت انتباه عالين في الرياضيات شاين سوف يقبلان هذا المجال الجديد في التحليل تماماً . فعند 1828 ، اشار ليجندر ان احدى نتائجه الحاصلة حديثاً ، حول « سلام المقاييس » قد تعممت من قبل استاذ شاب من كونيسبرغ اسمه ش جاكوبي C. Jacobi . الذي اذاع بحثه في « استرونومي نكريتن » شومانر Schumacher . وهذه المذكرات تدل على « ذكاء المؤلف وعلى خصب الطرق التي بواسطتها استطاع ان يذلل مصاعب موضوعه » .

وقد ألح ليجندر أيضاً على البحوث الحديثة التي قام بها آيبل Abel الذي تشكل مذكرته الأولى (مجلد 2 من صحيفة كريل) ، « تشكل نظرية شبه كاملة حول الوظائف البيضاوية منظور اليها من الناحية الأعم » .

والفكرة الاصلية عد آيبل ، وقد استعيدت بعد ذلك بقليل وبشكل مستقل من قبل جاكوبي ، هي تحقيق مقلوب (inversion) المتكامل البيضاوي من النمط الأول بعد اتخاذ قيمته كمتغير مستقل وحده الأعلى كوظيفة . وهناك فكرة اخرى خصبة ، هي ادخال الأعداد المعقدة ، وقد اتاحت يومها ، وعن طريق ازدواجية دورية الوظائف البيضاوية ، اتاحت تفسير بعض المشابهات الظاهرية بين مختلف

الصيغ الحاصلة وبين الصيغ الموجودة في دراسة الوظائف الدائرية أو في دراسة الوظائف الاسية . والمنافسة الحصية التي قامت بين آيبل وجاكوبي في موضوع الوظائف البيضاوية قادت العالمين الرياضيين الشابين الى نشر نتائج بحوثهما بوتيرة سريعة . في حين منعت وفاة مبكرة (9 شباط 1829) آيبل من انهاء « الموجز في نظرية الوظائف البيضاوية » التي كان بدأ بها ، قام جاكوبي بتطوير وجهة نظره في كتاب مهم تركيبي ، سوف نعود اليه .

فمنذ 1798 ، عثر غوس الذي لم يترك اي شيء يرضع عن بحثه ، حسب عادته - على عدة نتائج سبق ونشرها آيبل وجاكوبي . ومع ذلك فقد تقاسم العالمان الرياضيان الشبان اللذان كان - حسب صحب بالنسبة الى السطور اللاحق في الرياضيات مجد العصور ، مستغلين عن بعضها البعض وعن أي كان ، من جهة على وجوب العمل في كل مجالات المتغير المعقد ، ومن جهة أخرى على ضرورة قلب المسألة ثم التعلق ، لا بالتكامل بالذات ، بل بالدالة أو بالوظيفة (Fonction) المعاكسة وبفلس الاسلوب العثوري على يسر دراسة الدالة (الوظيفة) المعاكسة $tg x$ بدلاً من (الوظيفة) $\int_0^x \frac{dx}{1+x^2}$. وقد استطاعا بفضل هذا ، اكتشاف الدورية المزدوجة

للووظائف البيضاوية (عكس التكاملات) واستنتجا من ذلك تعددية الوظائف تعددية تشابه تعددية الأقواس في التريغونومتريا ، ونظرية التحول ، التي لا نستطيع التوسع بها .

التكاملات الأيبلية : ولكن آيبل قدم سنة 1828 اكتشافاً اضافياً اثار حماس كل العالم الرياضي ، ابتداءً من ليجندر المعجوز وجاكوبي . ونحن نتكلم عن الخاصة الاساسية في التكاملات المسماة في أيامنا متكاملات آيبل .

نفترض وجود منحني يمثل بمعادلة جبرية $F(x, y) = 0$. أي من جهة أخرى وجود وظيفة حذرية $F(x, y)$. ان التكامل الأيبل $\int_0^x f(x, y) dx$ هو التكامل المحسوب على أساس افتراض ان النقطة M المتكونة من الاحداثيتين x و y تنتقل فوق المنحني المعلوم . ان التكاملات البيضاوية هي حالة خاصة من التكاملات الأيبلية . وقاعدة آيبل تتعلق بالروابط بين التكاملات المأخوذة فوق نفس المنحني : مجموع من مطلق عدد من التكاملات ذات الحدود الكيفية ، ذات نفس الوظيفة ، يعبر عنه أي عن هذا المجموع بعدد محدد من التكاملات المشابهة يضاف اليها كميات جبرية ولوغارتمية . ويكون العدد المحدد ، المميز للمنحني ، هو صفها .

« كتب أ . بيكار سنة 1893 ، في تاريخ العلم يقول : لا يوجد اقتراح يمثل هذه الأهمية محمول عليه بمقدمات تمثل هذه البساطة » .

الوظائف البيضاوية عند جاكوبي وويرستراس weierstrass : جمع جاكوبي ، الذي عمل فضلاً عن ذلك على تقدم الفرع الجديد من التحليل المفتوح بفصل قاعدة آيبل ، في عقيدة متكاملة اكتشافاته الخاصة حول Fonction الوظائف البيضاوية في كتاب اسماء : « النظريات الجديدة الاساسية في الوظائف البيضاوية ، في سنة 1829 » . وقد فرضت لغته نفسها في الحال ، ولم تجد تعابير منافسة الا في نظرية وويرستراس الجديدة .

ان الوظائف البيضاوية الأساسية هي عند جاكوبي جيب زاوية الانفتاح (سينوس Sinus) ، وجيب تمام زاوية الانفتاح (كوسينوس Cosinus) ، ظل زاوية الانفتاح ، ودلتا الانفتاح . وقد عبر جاكوبي عن هذه الوظائف بفضل سلاسل من الدالات الأسية ، والوظائف Θ حول النموذج الذي اعتمده لها هـ . بوانكاريه H. Poincaré لكي يخلق فيها بعد الوظائف Θ فوشية .

ان الوظائف Θ ، التي عثر عليها فوريه ، في نظريته حول الحرارة بدت ، فضلاً عن ذلك ، سواء بين يدي جاكوبي أو يدي هرميت Hermite وكرونيكر Kronecker ، أداة قوية في نظرية الأعداد. في سنة 1844 ، وضع هرميت خصائص مهمة حول تحول الوظائف البيضاوية منطلقاً من صفة وظائف جاكوبي بأن تكون قابلة للتعبير بفضل حاصل قسمة الوظيفتين Θ ، الغابلتين للتطوير ضمن سلاسل دائمة الالتقاء وتبقى هي ذاتها أو تكسب عنصراً مشتركاً عندما يزداد المتغير بالزمنة المتعددة . وقد افتتح بهذا حقبة جديدة في تاريخ الوظائف البيضاوية . وبدلاً من أن يركز النظرية فوق متكاملات ليجندر ، ربطها بوظيفة Θ بواسطة طريقة خاصة به من شأنها فيما بعد ان ألهمت بوانكاريه في أعماله حول الوظائف الفوشية .

الوظيفة القياسية ؛ الوظائف الأييلية ؛ وظيفة غاما Γ : وهناك مساهمة رئيسية قدمها هرميت Hermite كنظرية الوظائف البيضاوية وتقوم على اكتشافه للوظيفة القياسية ، وهي إحدى أهم الوظائف في التحليل ، هذه الوظيفة ، التي استخدمها هرميت من أجل حل المعادلة العامة من الدرجة الخامسة بواسطة الوظائف (دالات) البيضاوية ، وتنتمي إلى غط الوظائف الثابتة في تحويل مجانس الشكل (هوموغرافي) للمتغير $z = \frac{ax+b}{cx+d}$ (مع كون هنا $ad - bc = 1$) والتي ترتبط بنظرية

المجموعات . ان الوظائف القياسية قد سبق ودرست بصورة رئيسية من قبل فليكس كلين . والوظائف الفوشية والكلاينية عند هنري بوانكاريه هي تصميمات لها .

ان الوظائف الاييلية هي وظائف ذات متغيرات كثيرة معقدة ، شبيهة بالوظائف البيضاوية ، وحاصلة انطلاقاً من قلب المتكاملات الاييلية .

وقد فتح جاكوبي ، متبوعاً بـ غوبل وروزن وهرميت ، ثم ريمان وويرستراس وكليش وغوردان الذين ربطوا في « الدالة الأييلية » (1866) هذه الدراسة بجيومترية المنحنيات الجبرية وعثروا ، عن طريق أسلوب أكثر بدائية على أهم النتائج في هذه النظرية ، ونذكر بدون الحاح عواقب وظيفة أخرى ، هي المتكامل الأوليري (نسبة الى أولر Euler) من الصنف الثاني أو الوظيفة غاما $\Gamma(x)$ التي ادخلها أولر ودرست هي أيضاً من قبل ليجندر Legendre وشاعت جداً بخلال القرن .

وعرف ليجندر المتكاملة الأوليرية المذكورة في كتابه « التمارين » وفي كتابه « الوسيط » بالمعادلة

$$\Gamma(x) = \int_0^1 dt \left(\log \frac{1}{t} \right)^{x-1} \quad \text{التالية:}$$

ووضع قانون التكرار أو التردد $\Gamma(x+1) = x\Gamma(x)$ وكذلك العلاقات التعاملية التالية .

؛ إذا كانت n صحيحة $\Gamma(n+1) = n!$

$$\Gamma(x)\Gamma(1-x) = \frac{\pi}{\sin \pi x} \quad \text{الخ.}$$

ويحكم انه حاسب ماهر وشجاع وضع جدول لوغاريتمات $\Gamma(x)$ محسوباً على أساس اثني عشرة كسراً لكل قيم x ، بخطوات تبلغ الواحدة منها جزءاً من ألف، انطلاقاً من 1000 الى 2000 .

وأهتم غوس Gauss هو أيضاً بهذه الوظيفة وحسب أيضاً جدواها واعتبرها كحدث m لامتناهية لـ $\frac{m!}{x(x+1)\dots(x+m-1)}$

واستنتج ليوفيل Liouville منها ، بعد ان اعتمد نفس الرأي ، في سنة 1853 ، عدة نتائج ملحوظة . وفي ما بعد لاحظ ويسرستراس ان $1/T(x)$ هي متسامية كاملة وصحيحة (اي كمية صغرى متسامية) .

قواعد الوجود بالنسبة الى المعادلات التفاضلية : منذ بداية القرن الثامن عشر اهتم المحللون بموضوع اساسي في الميكانيك وفي الفيزياء الرياضية هو حل المعادلات التفاضلية والمعادلات ذات المشتقات الجزئية .

وحصل تردد ، لمدة طويلة ، حول ما يجب ان يفهم بعبارة المتكاملة العامة في المعادلة ذات المشتقات الجزئية . في سنة 1815 ، كتب امير Ampere يقول : « لكي يكون المتكامل عاماً ، يجب ان لا يخرج عنه ، بين المتغيرات المعتبرة ومشتقاتها اللامتناهية ، الا الروابط المعبر عنها بالمعادلة المقدمة ، وبالمعادلات المستخرجة منها عند التفاضل » .

وفي مفهوم ج . داربو Darboux ، ان المتكاملة التحليلية العامة هي التي ، سنداً لاختيار مناسب للوظائف وللنوابات المطلقة الموجودة فيها ، تتيح العثور مجدداً على الحلول التي سبق ودل على وجودها كوشي واتباعه . لقد أظهر ا . ديلاسو E. Delassus و ا . غورسا E. Goursat في اواخر القرن ، ان تعريف داربو وجروا تعريف امير دون ان يكون للعكس مكان .

ان التبيين لنظرية الوجود الذي قدمه كوشي ، قد عرضه في سنة 1844 الاباتي موانيو Moigno وهذه الطريقة التي عرضها كوشي في محاضراته قبل 1840 ، عثر عليها فيما بعد ر . ليشيتز R. Lipschitz (1868) الذي أوضح شروط تطبيقها . والقصد هو « شروط ليشيتز » التي لعبت في أيامنا دوراً مهماً في عدة مجالات . ويرتكز أساس الطريقة على استبدال المعادلة التفاضلية بمعادلة ذات فوارق متناهية ، تسمى فيها الخطوات فيما بعد نحو الصفر ، وهذه الطريقة التي تستعملها الآلات الالكترونية اليوم من أجل « حل المعادلات التفاضلية ، قد درست من قبل ب . بينليفي (1896-1897) P. Painlevé ، ومن قبل أ . بيكار E. Picard (1899-1904) ، ومن قبل تيوفيلاتو Teofilato (1903) وغورسا Goursat (1905) ، وأ . كوتون E. Cotton (1908) ، الخ .

وهناك طريقة اخرى ، هي طريقة التقريبات المتتالية ، وقد اعتمدها ، منذ مدة طويلة علماء الفلك . وقد بين ج . ليوفيل Liouville G. تلاقيها ، سنة 1837-1838 ، في حالة خاصة . الا انه سبق لكوشي Cauchy ان قدم سابقاً في محاضراته نبياً عاماً حول هذا التلاقي ، وفقاً لأسلوب عرضه موانيو Moigno في سنة 1844 ، وقد طبقت طريقة مماثلة على المعادلات التفاضلية الخطية ذات النظام المطلق ، من قبل ج . كاكاي J. Caqué في سنة 1864 . ومن قبل ل . فوش L. Fuchs في

سنة 1870 - 1871، وج. بينو G. Peano، في سنة 1886 - 1887. وقد عثر على هذه الطريقة، بكل عموميتها، أ. بيكار سنة 1890. ان اعمال هذا الأخير قد استكملها كل من أ. بنديكسون A. Bendixson سنة 1893 ول. ليندولف L. Lindelöf سنة 1894، وش. سيفيريني C. Severini لسنة 1898، وأ. كوتون E. Cotton سنة 1908.

وترتكز الطريقة التي سماها كوشي « حساب الحدود » والمسماة اليوم « الوظائف الغالية »، على تطور الوظائف التحليلية تطوراً تسلسلياً. وهنا أيضاً يعتبر كوشي اول من بين بأن السلاسل الكاملة الصحيحة المعبرة عن حلول مطلق نظام من المعادلات التفاضلية، هي متلاقية، وذلك في أعماله التي اجراها في تورينو سنة 1831، واستعان عليها بسلاسل غالية اثبت وجودها بواسطة متكاملة.

ان تبين كوشي، وقد بسطه بشكل قوي كل من بريو وبوكي حوالي 1850، يطبق بأن واحد على المعادلات التفاضلية وعلى المعادلات ذات المشتقات الجزئية. في سنة 1875 وبأن واحد تقريباً ثبت كل من ج. داربو G. Darboux وصوفيا كوفالفسكايا Sophia Kovalevskaja (تلميذة ويرستراس) نتائج كوشي المتحصلة من هذه المعادلات الأخيرة المتجددة بطريقة أبسط. ان اعمال ميري Méray، ثم اعمال ريكيه، وتريس، وديلاسو Delassus تدخل ضمن هذا التراث.

وفي ألمانيا، بعد سنة 1842، دخل ويرستراس، في نفس السبيل، رغم جهله يوشيز بأبحاث كوشي حول هذا البرهان. فضلاً عن ذلك لم يستعمل ويرستراس ولا ميري في أعمالهما متكاملة كوشي. وقد تبع عد ضخم من الرياضيين، في آخر القرن التاسع عشر والقرن العشرين هذه الطريقة المرتبطة تماماً بنظرية الوظائف التحليلية. وهذه الطريقة اتاحت بشكل خاص، لكل من بريو وبوكي، في سنة 1856، دراسة النقاط الفريدة في المتكاملات؛ وقد عاد إليها فيما بعد وطورها أ. بيكار وه. بوانكاريه.

وأخيراً هناك طريقة أخيرة، هي طريقة تغير الثوابت قدمها كوشي سنة 1840. ولا يختلف مبدؤها بشكله الأعم عن القاعدة التي اتخذها ج. بوانكاريه كأساس لبحوثه في الميكانيك السماوي، بعد ان برز مجلياً في إثباتها وإثباتها واضحاً ودقيقاً.

طرق تكامل المعادلات التفاضلية او ذات المشتقات الجزئية. يقوم موضوع تكامل مطلق معادلة تفاضلية، من منطلق اولي، على تحديد الوظائف المجهولة بواسطة معادلات متناهية لا يتدخل فيها الا عدد متناه من الرموز الجبرية ومن الوظائف المعروفة مسبقاً. ومنذ القرن الثامن عشر عرف هذا الموضوع عموماً بأنه مستحيل. وقد جرت محاولة لحل المعادلات التفاضلية، باتجاه أكثر اتساعاً، هو اتجاه التكامل، عن طريق التربيعات، حيث كان من الواجب رد الحساب الى سلسلة من العمليات الجبرية والتكاملات اللا محدودة، ذات العدد المحدود. وبين ليوفيل، سنة 1840، استحالة هذه المسألة الجليدية بوجه عام. الا ان هذه الاستحالة كانت معروفة سابقاً ومنذ زمن بعيد، وهذا ما يفسر ظهور مسألة وجود الحلول بالذات.

ان النظريات الكلاسيكية لا تهدف الا الى اختزال - في بعض الحالات الخاصة المحددة تماماً - مسألة التكامل وردها الى مسائل من ذات الطبيعة إنما أكثر بساطة.

وفي طريقة ضارب أولر في المعادلات من الدرجة الأعلى ، تخفض درجة الوحدة حالما يعرف المضارب . ان طريقة ضارب جاكوبي تتيح استكمال التكامل عن طريق الترتيبات ضمن بعض الشروط .

ان اول طريقة عامة في تكامل أو دمج المعادلات في المشتقات الجزئية من الدرجة الأولى تعود الى نيف (1814 - 1815) . وفي سنة 1819 قدم كوشي طريقة ايسط واكثر سرعة . وبمقارنة اعمال هاملتون حول الميكانيك ، بطريقة نيف ، اكتشف جاكوبي من جديد طريقة كوشي وقد كان يجهلها .

ويعود الى جاكوبي فضل اكتشاف طريقة اخرى كان قد امتلك مبادئها الأساسية سنة 1836 . وقد علمها لمدة طويلة في كونيسبرغ ، الا أنها لم تنشر الا بعد وفاته ، من قبل كليش Clebsch سنة 1862 . في هذه الاثناء كانت معظم نظريات جاكوبي قد اكتشفت من جديد من قبل ليوفيل (1853) ، ومن قبل بور Bour (1855) ، ومن قبل دونكين (1854) الخ . وقد استكملت هذه الطريقة فيما بعد من قبل ماير Mayer .

ان الأعمال الجارية حول المعادلات التفاضلية او ذات المشتقات الجزئية كانت كثيرة العدد بخلال القرن ، بحيث يستحيل استخلاصها هنا ، نكتفي فقط بالقول انه بعد 1872 ، قدم الجيوميتري لـ جي صوفوس لي Sophus Lie عنصراً فريداً في التصنيف ، وذلك بفضل نظريته حول الزمر المتتالية في التحولات . وهذه النظرية قد اتاحت ، ليس فقط رد غالبية الطرق الكلاسيكية الى مبدأ واحد ، بل أعطت أيضاً وسيلة من شأنها استخراج - من بنية الزمرة المقترضة معروفة - نتائج دقيقة حول طبيعة الأنظمة المساعدة الداخلة في التكامل أو الدمج . نذكر أيضاً ، توسيع أفكار غالوا Galois لتشمل المعادلات التفاضلية المستقيمة الخطية من قبل أ . بيكار سنة 1883 ، وتبعه دراك Drach وفيصو Vessiot سنة 1892 .

III - التقدم اللاحق في التحليل

بالرغم من ان عرضنا قد تجاوز في بعض الأحيان - وبصورة واسعة سنة 1850 ، فإن القسم الكبير مما سبق ذكره كان من فعل الرياضيين من النصف الأول للقرن ، حيث كانت السنوات الواقعة بين 1820 و 1840 سنوات خصب بشكل خاص وابتداء من (1850) تقريباً جرى عمل ضخم معه ، عمل توصيحي وإنشائي سوف يستمر ، كما ان النظرية الحديثة للوظائف سوف ترتدي وجهها الكلاسيكي . وكانت ولادة الدقة قد وجدت روادها في غوس Gauss وكوشي Cauchy وأبييل Abel وبولزانو Bolzano الذي كان لعمق نظره القليل من التأثير . الا أن الفكر الجديد قلما ظهر في مجمله الا في منتصف القرن ، وسوف نميز ، فيما يخص نظرية الوظائف بين ثلاثة تيارات رئيسية : في فرنسا تيار كوشي وفي ألمانيا تيار ريمان Riemann من جهة وتيار ويرستراس Weierstrass من جهة أخرى . وهذه التيارات الثلاثة سوف تتداخل وتصبح نظرية الوظائف التحليلية في السنوات الأخيرة من القرن تركيبة موفقة من هذه التيارات .

منهج مفاهيم كوشي - Cauchy : في سنة (1843) قام ب . آ . لوران P. A. Laurent ،

ضابط في الهندسة المدنية، باكمال نظرية كوشي لسنة (1831) وذلك حين اكتشف ما سمي « سلسلة لوران ». وتيوأ فيكتور بويسو Victor Puiseux ، تلميذ ستورم Sturm ، بعد ان استوعب أفكار كوشي ، مركز الصدارة في العلم ، وأسس في سنة (1850) ، نظرية الوظائف الجبرية للمتغير المعقد .

ووضع جوزيف ليوفيل (1809 - 1882) الذي أسس سنة 1836 مجلة الرياضيات التطبيقية والنظرية والذي كان له دور مهم في كل فروع الرياضيات وضع حوالي 1850 ، وبذات الوقت مع هرميت Hermite نظرية الوظائف البيضاوية ، بالتجريد ، كوظائف (جزئية الاشتقاق الشكلي) من المتغير المعقد ذي المرحلتين . وهكذا كان لانكار كوشي الأساسية نصران : في تطبيقاتها على الوظائف الجبرية من جهة وعلى الوظائف البيضاوية من جهة أخرى .

وأعاد كوشي بنفسه النظر في النظرية العامة لوظائف المتغير المعقد وابتدع معجمية ، توضح خصائصها: الوظائف وحيدة التعيين monodromes فيما يتعلق بالوظائف التي نسميها متسقة خاصة الوظائف وحيدة الأصل monogènes بالنسبة الى الوظائف المستمرة ، والتي يعتبر اشتقاقها في كل نقطة محدداً . ولم يشكك كوشي على الاطلاق باشتقاقية مطلق وظيفة مستمرة للمتغير الحقيقي . ولكنه لاحظ انه بالنسبة الى المتغير المعقد ، ان الدرب الذي يتبعه هذا المتغير وبه ينزع نحو حده ، يلعب هذا الدرب دوراً مهماً أما قواعد التي وضعها سنة 1825 و 1831 فهي قابلة للتطبيق فقط على الوظائف المونوجينية .

في سنة 1959 نشر بريو Briot ويوكي Bouquet « نظريتها حول الوظائف المزدوجة الدورية » وأعيد طبع الكتاب سنة 1873 - 1875 تحت عنوان « نظرية الوظائف البيضاوية ». وبعدها ارتدت أفكار كوشي Cauchy الشكل التعليمي الذي كان ينقصها . وكان أول قسم من هذا المؤلف يشتمل على عرض للنظرية العامة للوظائف ، وفقاً لفاهيمه . وما يزال يوجد ، من معجمية هذين المؤلفين عبارة « الوظيفة التحليلية » وقد صاغها سنة 1875 .

نظرية الوظائف عند ريمان Riemann : كان برنهارد ريمان (1826 - 1866) احد الرياضيين الأكثر عمقاً في القرن وقد تلمذ على غوس في غوتينجن . ثم على جاكوبي وعلى ديريكلي في برلين . وعندما عاد الى غوتينجن ، ناقش فيها اطروحة سنة 1851 ، قبل ان يعلم في هذه الجامعة المشهورة ، كأستاذ مساعد ، وذلك سنة 1857 ، ثم كخليفة لديريكلي ، على منبر غوس سنة 1859 . ومرض مرضاً خطيراً بعد 1862 فمات سنة 1866 ولما يبلغ الأربعين .

تعتبر اطروحة 1851 ، فيما يتعلق بنظرية الوظائف ، واسمها (أسس النظرية العامة لوظائف المتغير المعقد) أساسية . وهي مستقلة تماماً عن أفكار كوشي ، وتستوحي الفيزياء الرياضية : (نظرية الزخم الكامن وسيولة الموائع) وفي الجيومتريا ، (التمثل التوافقي) . ويعتبر ريمان هنا تلميذاً للرياضي الألماني الكبير غوس ، الذي يمتاز عمله عن عمل كوشي وان كان أقل انتشاراً في الأوساط العلمية ، كما يعتبر حاسماً بالنسبة الى تقدم العلوم اللاحق .

ان نظرية الزخم الكامن المؤسسة في القرن الثامن عشر (راجع المجلد الثاني) قد طورت بشكل خاص في القرن التاسع عشر . وأدخل غرين Green الكلمة ذاتها ضمن مذكرة أساسية يعود

تاريخها الى سنة 1828، ولم تعرف تماماً الا بعد اعادة طبع المذكرة سنة 1846 من قبل و. طومسن W. Thomson. بين هذا الأخير، سنة 1843، ثبوتية معادلة لابلاس Laplace بالنسبة الى القلب « التغيير رأساً على عقب ». واشتغل غوس سنة 1839 - 1840 بعمق حول نفس موضوع الزخم⁽¹⁾.

رغم كون ريمان بعيداً عن التراث الفرنسي، الا انه في بحوثه يقترب جداً من اعمال كوشي الاخيرة حول المسألة التي عاصرتها اطروحة تقريباً.

وعندما كتب ريمان حول المتغير: $z = x + iy$ وحول الوظيفة $f(z) = u + iv$ فانه اتخذ كأساس المعادلتين المتضاربتين $\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}$ و $\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x}$ ورد الى دراستهما نظرية وظائف المتغير المعقد. وأدى هذا الى النظر في المعادلة: $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$ وهي معادلة الزخم والوظائف الهرمونية.

ومن بين المسائل التي يمكن طرحها حول هذه المعادلة، تعتبر المسألة الأكثر شهرة هي مسألة «ديريكلي Dirichlet»: تحديد قيمة المتكامل بالمقادير التي له فوق مستدير مقفل. وقد طرحت بشكل خاص في المسائل المتعلقة بالتمثيل المتجانس في قسم من السطح مع سطح آخر، وقد حلها ريمان بطريقة بقيت مشهورة، سميت، تطبيق «مبدأ» ديريكلي، وقد استعمله هذا الرياضي الكبير الذي كان مع جاكوبي وغوس احد ملهمي هذا المبدأ. ومن بين الوظائف، ووظائف x و y التي تتخذ في المستدير القيم المعينة، اتخذ القيمة التي نجعل متفلساً الى اقصى حد المتكامل المزدوج

$$\iint_D \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy.$$

وقد بين يومتز ان هذه الوظيفة تكفي المعادلة. وبين ويرستراس، في سنة 1869 انه، اذا كان صحيحاً ان المتكامل المزدوج محدود من تحت، فلا شيء يقول انه يبلغ هذا الحد. وهذه الملاحظة احدثت صدمة حقة، وكانت في اساس اعمال شوارتز، وش. نيومان، وهربانكاريه.

وبين هليبرت في سنة 1900 انه من الممكن بواسطة طرق جديدة جعل تبين ريمان أكثر دقة.

بدايات التوبولوجيا: ان المنح التوبولوجي في طرق ريمان المتعلقة بنظرية الوظائف بدت أيضاً أكثر وضوحاً في مذكرته: «نظرية الوظائف الأييلية» (1857)، المستخرجة من دروسه لسنة 1855 و 1856.

ويفضل التوبولوجيا التي كانت تسمى يومتز «تحليل الوضع». تأسست فعلاً نظرية الوظائف الجبرية التي فالت خصائصها الأساسية كوشي ويوزو. وهنا برز تصور «سطوح ريمان» المتكون من سطوح متراكمة، يعادل عددها درجة المعادلة الجبرية، ومرتبطة بخطوط مرور، يتم الحصول عليها بضم القطع الحساسة بشكل من الأشكال.

وكان تأثير ريمان كبيراً جداً وشبه مباشر. ويمكن ان يذكر من بين تلاميذه، في ألمانيا، كارل

(1) انظر أيضاً حول هذا الموضوع دراسة [بويري الفقرة الأولى، الفصل الرابع، القسم الثالث.

نيومان وغوردان، وهانكل وكليش وفوش .

وفي فرنسا نشر ش . جوردان ، بعد (1866) ، مذكرة حول تشوهات السطوح حيث بين بشكل خاص ، ان سطحين مقفلين فيها نفس العدد من الثقوب أو هما من نفس النوع يتطابق أحدهما فوق الآخر .

وفي إيطاليا ومنذ (1859) ، قدم انريكو بيتي Enrico Betti ترجمة ايطالية للمذكرة الريمانية العائدة لسنة (1851) ، ونشر التحليل المفصل لهذه الترجمة (1868) في « نظرية الدالات » لكازوراتي Casorati .

وقدم بيتي ، بعد ريمان وقبل هـ . بوانكاريه للتوبولوجيا خدمات جليلة . وفي سنة (1868) طور بريوشي Brioschi وكرميونا Cremona وكازوراتي Casorati ، في محاضراتهم المتبادلة نظرية الوظائف البيضاوية والوظائف الايليية بحسب مفاهيم جاكوبي Jacobi وكليش Clebsch وغوردان Gordan ، وريمان Riemann .

نظرية الوظائف وفقاً لويرستراس Weierstrass : تعلم كارل ويرستراس (1815 - 1897) الوظائف البيضاوية على يد غودرمن Gudermann الذي حرصه على اعتماد - من أجل هذه الدراسة - التطورات ضمن السلاسل الكاملة الصحيحة . وبعد ان كان لمدة طويلة استاذ تعليم ثانوي ، علم في مدرسة بوليتكنيك في برلين ، ثم في سنة 1856 في جامعة هذه المدينة حيث عرفت دروسه نجاحاً كبيراً . وكان قليل النشر ، ولكن اثره ظهر من خلال تعليمه ، وكان من الصعب أحياناً ، من خلال النشرات اللاحقة التي قام بها تلامذته العديدين ، تبين اكتشافاتهم الخاصة وأفكار المعلم .

وقد جهد ان يستبعد ما امكن اللجوء إلى الالهام والوصول إلى أقصى درجات الدقة ، فكان لويرستراس على الرياضيين في العالم كله تأثير ضخم : حتى قال بشأنه هرميت سنة 1900 في المؤتمر الدولي في باريس « ان ويرستراس هو معلمنا جميعاً » .

وقد لاحظ ريمان في سنة (1861) وفي تعليمه ، وفيما خص المتغير الحقيقي ، لاحظ ان استمرارية الوظيفة لا تقتضي ابداً اشتقاقيتها . وفي سنة (1871 - 1872) انشا ويرستراس أول مثل حول الوظيفة المستمرة فوق قطعة من خط حيث لا اشتقاق على الاطلاق . هذه الوظائف بدون اشتقاق او تفريع ، والتي عرفت مسبقاً من قبل بولزانو Bolzano اعتبرت عند ظهورها كحالات بشعة صعبة ، غير عائدة الى الرياضيات الاصولية . « انني اعرض بفزع ورعب - هكذا كتب هرميت الى ستيليجس Stieltjes - من هذا الجرح المؤلم الذي يتبع عن الوظائف المستمرة التي ليس لها مشتقات » .

وفي مجال المتغير المعقد ، قام ويرستراس ، وقام بمجزل عنه ميري Méray في فرنسا ، بتعريف الوظيفة بتطوير للسلسلة الصحيحة في مجاورة نقطة منتظمة . وتحدث بعدها وبالتقريب المتصاحي الوظيفة من خلال امتدادها التحليلي . واذا تلاقت سلسلة الانطلاق في كل السطح ، فلها تمثل « وظيفة متصاعدة صحيحة » . وبين ويرستراس انه بالامكان عندئذ تفسيرها بشكل حاصل ضرب عدد غير متناه من العوامل ، « هي العوامل الأولية » عوامل ويرستراس . واكتشف سنة (1876) ،

وبدأت الوقت مع كازوراتي Casorati ، انه في مجاورة نقطة فريدة وأساسية يمكن لوظيفه متسقة ان تقرب مقدار الرغبة من قيمة معينة .

وفي سنة (1879) حصل اميل بيكار على نتيجة اكثر دقة : كل وظيفة تحليلية $f(x)$ ذات نقطة مفردة معزولة تتخذ ، مرات لا حد لها ، كل قيمة معينة في جوار هذه النقطة ، ولا يوجد اي خروج على هذا الا فيما يخص قيمة واحدة خاصة . وكان تبين اميل بيكار ، تطبيقاً لنظرية الوظائف القياسية . وهذه المسألة كانت موضوع بحوث كثيرة لاحقة .

وقد بنى ويرستراس نظرية جديدة حول الوظائف البيضاوية تمتاز عن نظرية جاكوبي انها لا تحتوي الا على وظيفة واحدة أساسية بدلاً من ثلاث وظائف . وقد عرف نشر معادلات شوارز Schwarz في سنة 1885 العالم العلمي بالنظرية الجديدة التي اتخذها هالفن Halphen كأساس لمعالجته الوظائف البيضاوية « (ثلاثة مجلدات ، 1886 - 1891) والتي اعتمدها ك . جوردان في تعليمه وفي الطبعة الثانية من « محاضرات حساب . وبلغت نظرية الوظائف البيضاوية ذروتها مع ويرستراس .

واستطاع ه . ليبيغ H. Lebesgue ان يقول عنها : « ان الوظائف البيضاوية المعهولة جداً ، منذ ان قام ويرستراس بتبسيط عرض قواعدها العامة » مضيفاً « ان القواعد العامة تستجيب للمسائل التي سبق طرحها ؛ ولكن للأسف انها تستجيب بسهولة بالغة ، دون ان تقتضي منا أي جهد . ولما كانت تعطينا حلول المسائل قبل ان ندرسها فانها غيت الفضول فينا وتحرمتنا من المعرفة العميقة التي من شأنها ان تؤدي الى مسائل جديدة » .

حسبة الرياضيات : ظل المحللون حتى سنة 1870 يشبهون الى حد ما ، علناً ، الاعداد الصحيحة الحقيقية باجزاء الخط المستقيم ، أو بالأحرى بقياسات هذه الأجزاء انطلاقاً من وحدة طولية . وهذا الموقف هو استمرار باق من موقف ديكارت ومن النظرية اليونانية حول النسب . ولكن منذ منتصف القرن تقريباً وفي بعض الحالات كان هناك شعور بضرورة ملاحظة الأشياء عن قرب أكثر والأول الذي عر عن هذا الميل هو شارل ميري الذي اعطى في سنة 1869 معنى حسابياً خالصاً للعبارة « العدد غير الجذري » .

وسمى يومئذ « المتعبر المتدرج » ، وفي ما بعد « البديل » سلسلة من الأعداد الجذرية . وإذا كان البديل هو سلسلة كوشي ، فقد صرح بأن هذه السلسلة تلتقي . ويكون البديلان متعادلين اذا كان الفرق بينهما ينز نحو الصفر وإذا كان البديل متلاقياً ودون حدود فهو يحدد عدداً وهمياً يسمى غير جذري . والبديلان المتساويان يحددان نفس العدد .

لقد طور ويرستراس في تعليمه ، وخاصة سنة 1865 - 1866 ، افكاراً مماثلة إنما أكثر ته نيدياً . ومن أجل تبسيط عقيدة ويرستراس التقى ج . كانتور وه . أ . هين H. E. Heine في سنة 1872 مع ميري Meray . وبذات السنة قدم نقطة ر . ديدكين R. Dedekind تعريفه للاعداد غير الجذرية بواسطة الفرجات في مجمل الأعداد الجذرية ، وشكل بذلك نظرية أصبحت فيما بعد كلاسيكية (Ste- tigkeits und Irrationale Zahlen , Braunschweig 1872) وهكذا تقدم العدد البنيوي [غير البسيط]

والمبنى المركب على الخط المتقطع لأنه أكثر إجابة وإن يكن أقل وضوحاً ؛ وحل علم العدد (ارتمتيك) عمل الجيومترية في التحليل . فضلاً عن ذلك وسواء في نظرية المعادلات التفاضلية ام في النظرية العامة للدالات (للوظائف) اضطرت البحوث ، في دقتها ، ومن أجل الاحاطة التمادية بالمسائل الشاذة ، ان تتخذ موقفاً مهماً أكثر فاكثراً بالخصائص الارتمية (الحاسبية) الخالصة في الاحداثيات أو في العدد المعين للموقع (affixe) وهذه هي حسنة الرياضيات التي لحظها بشكل خاص فيليكس كلين Felix Klein .

هنري بوانكاريه Henri Poincaré : لقد ذكرنا هنري بوانكاريه (1854 - 1912) وسوف يذكر أيضاً كثيراً في هذا المجلد . ولكن قسماً مهماً من عمله سوف لن يذكر الا في المجلد المخصص للقرن العشرين . كان بوانكاريه تلميذ مدرسة نانسي Nancy ، ثم دخل مدرسة بوليتكنيك سنة 1873 وجاء الأول في دورته . ثم انتقل بعدها الى مدرسة المناجم ، واستقر في فيزول سنة 1879 بصفة مهندس في مصلحة المناجم . وفي سنة 1878 ناقش أطروحة دكتوراه حول خصائص الوظائف المحددة بواسطة معادلات ذات مشتقات جزئية . واهتم بأعمال هرميت ونشر مذكرات حول نظرية الأشكال وحول تطبيق الجيومترية غير الاقليدية على نظرية الأشكال التربيعية . وساعدته دراسة بحث وضعه ن . فوش L. Fuchs على اكتشاف الوظائف المتطابقة ذاتياً في سنة 1881 . وعلم التحليل في كلية العلوم في كاين منذ مطلع 1880 . وفي تشرين الأول 1881 ، سمي استاذاً محاضراً في كلية العلوم في باريس وعلم فيها بأن واحد ، التحليل ، والميكانيك السماوي والفيزياء الرياضية . كما علم في مدرسة بوليتكنيك من سنة 1904 الى 1908 . وأصبح عضواً في اكاديمية العلوم سنة 1887 ، وفي الاكاديمية الفرنسية في سنة 1909 . ومات سنة 1912 على أثر عملية جراحية .

« لقد كان ذا نشاط دائم ومتجدد ، واعتنى بكل المجالات الرياضية والفيزيائية المعروفة في عصره ، واستخرج منها المبادئ الفلسفية ، واكتشف حقول بحوث كثيرة ، الى درجة انه لا يوجد في الوقت الحاضر اي مجال في الرياضيات ، لم يقدم فيه شيئاً أو لم يطبعه بطابعه » (ج . جوليا G. Julia ، 1954) .

نذكر أخيراً بأهمية كتاباته الفلسفية التي عرفته لدى الجماهير . وقد جمعت هذه الكتابات في « العلم والفرضية » (1906) ، « قيمة العلم » (1913) ، « العلم والمنهج » (1908) ، « الأفكار الأخيرة » (1913) . ومطالعة هذه الكتب تبقى دائماً جذابة ومثمرة .

IV - نظرية المجموعات

ان اللامتناهي ، ومنذ أيام اليونان واليونانيين امثال زينون الابلي Zeno Eleé ، وإيدوكس Eudoxe ، وأرخميدس Archimède ، قد جذب الرياضيين وشغلهم . أما المدرسيون في القرون الوسطى ، ثم في القرن السابع عشر مبدعو الحساب اللامتناهي الصغر ، فقد اصطدما ، بالعديد من التناقضات ، ويمكن هنا ذكر غاليلي Galilée وتلميذه توريشلي Torricelli . وحاول فونتونيل Font-tenelle اجراء مؤالفة فاشلة سنة 1727 . وفي القرن التاسع عشر لفت بولزانو Bolzano ، في كتابه :

Paradoxien des Unendlichen ، المنشور سنة 1851 ، الانتباه الى خاصية المجموعات اللامتناهية ، والتي تمكنا من التوافق الكامل مع بعض من أجزائها . ويمكن أيضاً ذكر بول دي بوا ريمون Paul du Boix - Raymond ، ودراساته حول نحو الوظائف ولكن جورج كانتور G. Cantor (1845-1918) هو الذي استخرج من دراساته حول وظائف المتغير الحقيقي ، وبشكل خاص حول سلاسل فورييه Fourier ، نظرية جديدة كان لها على الرياضيين اللاحقين تأثير ضخم هي نظرية المجموعات .

جورج كانتور Georg Cantor : ولد في سان بطرس برغ سنة 1845 ، من عائلة يهودية اصلها من البرتغال . ودرس في جenaar ويسبادن ثم في زوريخ . ومنذ 1863 اتجه نحو النظري ، ثم تلمذ في برلين على كومر Kummer وويرستراس Weierstrass ، وكرونكر Kronecker . ولم تدل اطروحتة ، لسنة 1867 ، والمخصصة لنظرية الأعداد ، على الاتجاه الذي سلكه في أعماله اللاحقة . وعلم كأستاذ خاص في جامعة هال ، سنة 1869 ، ثم كمساعد استاذ سنة 1872 ، وثبت في الملاك سنة 1879 ، ولكنه لم يحظ بكروسي الاستاذية في برلين . وفي سنة 1884 ، بدأت تظهر عليه علامات المرض العقلي . ومكنت فترات الصحو الصحي كانتور من متابعة اعماله . وبخلال احدى هذه الفترات حول كرسية في الرياضيات الى كرسى في الفلسفة . ومات في مدينة هال في 6 كانون الثاني 1918 . وبدأت أعماله الاصلية حول المجموعات في سنة 1873 ، بمقال أول تبعته كتابات ظهرت بين 1878 و 1883 ، ثم بين 1895 و 1897 . وتميز اكتشافه للأعداد « العابرة النهائية » في سنة 1879 بشكل خاص .

كتب كانتور في سنة 1897 (ترجمة ف . ماروت ، 1899 الى الفرنسية) يقول : نسمي مجموعاً كل اتحاد M من الاشياء في مفهومنا m ، محددة ومتميزة تماماً ونسميها عناصر M . . .

« ونسمي « قوة » أو « عدد رئيسي » من M المفهوم العام المستخرج من M بواسطة قدرتنا على التفكير وذلك بعد تجاهل طبيعة العناصر المختلفة m وترتيبها . . .

« ونقول ان مجموعتين M و N متساويتان ونكتب $M=N$ أو $M-N$ ، عندما يكون بالامكان جمعها بحيث ان كل عنصر من احدها يتطابق مع عنصر ، وعنصر واحد من الآخر . . . ويكون للمجموعتين عندئذ وعندئذ فقط نفس العدد الرئيسي عندما تكونان متعادلتين . »

ان مجمل الأرقام الصحيحة الطبيعية له قوة تمثلها العلامة \aleph_0 (ألف - صفر) . وكل المجموعات التي تعادل هذا المجموع تعتبر قابلة للعدد .

في سنة 1873 اثبت كانتور ان مجمل الأرقام الجبرية قابل للعدد ، كما اثبت من جهة أخرى ان مجمل الأعداد الحقيقية غير قابل للعدد . وهكذا فوجود الأعداد المتصاعدة قد اقر بواسطة اسلوب مستقل تماماً عن أعمال ليوفيل .

وبين كانتور انه بالامكان اقامة جمع وضرب « خاضعين للقوانين التبادلية والتجمعية والتوزيعية على الأعداد الرئيسية أو القوى » .

وعرف التصعيد بما يلي : « لو فرضنا وجود مجموعتين N و M ، وقانون يجعل كل عنصر من N مطابقاً لعنصر محدد من M ، هذا القانون يحقق تمثيلاً لـ N على M . واجتماع كل التمثيلات المتميزة لـ N على M يمثل المجمل التزايدى لـ N مع M . أما العدد الرئيسى فيتعلق بعنصر M الرئيسى N الرئيسى a و b ، ويرمز اليه بـ a^b . وعلى هذا تكون قوة العدد المستمر هي 2^a ».

الأعداد العادية الكثيرة الغنى : ننظر الى مجموعات منظمة تنظيمياً بسيطاً، أي انه بالإمكان وضع ترتيب خطي بين عناصره، ادخل كانتور بينها غط النموذج العادي . وهو يقصد بذلك « الفكرة العامة التي تنتج عن M عندما نتجاهل طبيعة عناصر M ، دون ان نتجاهل ترتيب تنابعها ».

ويسمى المجموعان المنتظمان نفس الانتظام متشابهين . ويكون لهما نفس القوة أو نفس العدد الرئيسى . ولكن المجموعتين المنتظمتين المتساويتين يمكن ان لا يكونا متشابهين اذا كان لهما عدد غير محدود من العناصر . وتشكل كل الأنماط من ذات القوة « طبقة من الأنماط » . ويمكن فوق الأنماط ، اجراء جمع وضرب . فالجمع هو مشاركة ولكنه غير تبديلي . وكذلك الحال بالنسبة الى الضرب الذي لا يكون توزيعياً بالنسبة الى الجمع إلا عندما يكون العدد الضارب مجموعاً من الأعداد .

وغط الأعداد الكاملة هو ω . اما غط الأعداد الجزئية الموجودة بين صفر وواحد ، والمرتبة ترتيباً تصاعدياً فهو ϵ . وإذا كان مجمل ذو ترتيب بسيط ، من القوة « لا يحتوي على اي عنصري مرتبة اقل أو اعل من كل العناصر الأخرى ، وإذا كان ثقيلاً في كل مكان ، فهو من غط ϵ . والنمط المستمر استثنائه هو () . وقد وضع كانتور مجمراته ، ومن بينها ان يكون كاملاً ، وهو مفهوم تحريدي يعود الى ثلاثي سلاسل كوشي . ان كل مجمل منتظم M كامل ويحتوي على مجمل فرعي بقوة « ممثل على M هو من النمط θ ».

« من بين المجموعات المرتبة ترتيباً بسيطاً ، يجب الاهتمام الخاص بالمجموعات الحسنة التنظيم . وأنماطها العادية ، ونسميها نحن أعداد عادية ، تعطي العنصر الطبيعي لتعريف دقيق من الأعداد الغنية العليا ».

ان المجمل F يكون جيد الانتظام « عندما تتدرج عناصره f انطلاقاً من عنصر f_1 ، في سلسلة محددة ، بحيث يوجد في F عنصر أساسي f_2 وانه اذا كان F^{-1} هو جزء من F ، وإذا كان F يمتلك عنصراً أو عدة عناصر من مرتبة اعل من كل العناصر الموجودة في F^{-1} فإنه يوجد عنصر f من F يتبع مباشرة المجمل F^{-1} بحيث انه لا يتواجد في F اي عنصر تضعه مرتبته بين F^{-1} و f ».

وهذا التعريف يعود في أساسه الى سنة 1883، ان الأعداد العادية تشكل بذاتها مجموعاً جيد التنظيم في داخله يمكن اجراء عملية جمع وضرب . ولهاتين العمليتين الخصائص التالية :

$$\alpha + \beta \leq \alpha + \beta$$

$$\alpha + \beta = \alpha + \gamma$$
 فنؤدي الى $\beta = \gamma$ والضرب تجميعي ولكنه غير تبديلي :

$$\alpha(\beta + \gamma) = \alpha\beta + \alpha\gamma$$
 و $\alpha\beta > \alpha$ و $\alpha\beta > 1$ ان الأعداد العادية المتناهية تتوافق في خصائصها مع الأعداد

الرئيسية المتناهية وتشكل الطبقة الأولى العديدة . أما الطبقة الثانية فهي الطبقة المتوافقة مع المجموعات الحسنة النظام من القوة ∞ . وأصغر عدد موجود فيها هو ∞ نط منتظم في مجمل الأعداد الطبيعية . وقوة هذه الطبقة الثانية تساوي العدد الثاني الرئيسي الفني \aleph_1 (ألف واحد) . وبني كانتور حساباً متكاملًا من الأعداد العادية من المرتبة الثانية عما فيه الثقيل . وأبعد من هذه المرتبة الثانية تمتد الأعداد الغنية الى ما لا نهاية .

ان الأفكار الثورية التي جاء بها كانتور ، اثارت منذ ظهورها الاعتراضات العنيفة وخاصة من قبل كرونكر . وظل مفكرون عظام أمثال هرميت معارضين تمامًا لكانتور ، لأن الرياضيين قد انقسموا الى فريقين . ولكن إذا كانت أفكار كانتور لم تصمد أمام الانتقاد ، الا ان جوهرها كان مكسباً للعلم ، كما كانت حازراً قوياً يحفز الرياضيين من الجيل اللاحق . ودون الدخول المسرف في تاريخ القرن العشرين ، فانه بالامكان التذكير هنا بأسماء بعض الرياضيين الفرنسيين الذين استلهموا أفكار كانتور استلهاها مفيداً ، ومنهم بالدرجة الأولى كميل جوردان الذي عرف كيف يتمسك في تعليمه في مدرسة البوليتكنيك وفي كوليج دي فرانس عند مستوى آخر تقدم علمي ، ثم ج . تيري Tannery . J وامليل بويرل Emile Borel ، وريني بير René Baire ، وهنري ليبشغ Henri Lebesgue .

٧ - نظرية الأعداد

فيما حص نظرية الأعداد ، يبدأ القرن التاسع عشر بأعمال ليجندر وغوس اللذين نظماً تقديرات القرن الماضي وقدموا للقرن الجديد مناهج ومسائل بأن واحد .

ليجنندر . استمر عمل ادريان ماري ليجندر Adrien - Marie Legendre من سنة 1798 الى سنة 1830 . فبدأ أولاً بكتابه « محاولة حول نظرية الأعداد » . وأعيد نشر الكتاب سنة 1808 مع التعديلات بلغت حداً للدرجة « ان نصف الكتاب ، قد أصبح كتاباً جديداً » ، ثم ملحقات بين 1816 او 1825 . وأخيراً صدر له سنة 1830 كتاب : « نظرية الأعداد » (مجلدان) . ونجد هنا ، كما في نظرية الوظائف البيضاوية ، الماثبات الذي يعيد النظر باستمرار بأعماله ، حتى النفس الأخير . ثم ان هذا العمل ما يزال مهماً يستحق المراجعة خاصة بالجداول العديدة الموجودة فيه . وهو يرتكز على أساس رئيسي هو نظرية الكسور المتتالية . ان اثبت لاغرنج خصصها منذ (1767) .

غوس Gauss : ان العمل الاساسي الذي قام به غوس بعنوان بحوث حسابية (1801) وترجم الى الفرنسية سنة 1806 ، يتفق مع عمل ليجندر . انه نتاج شباب ولم يطبع منه صاحبه الا طبعة واحدة . وقد وصل الى الكمال تقريباً وكان خبر ملهم لكل المنظرين اللاحقين حول العدد .

وهو يدعو بطريق المثل الى ضرورة الدقة الصارمة في الرياضيات . ومن وجهة النظر هذه وابتداء من هذا المؤلف ، تجاوزت نظرية الأعداداً تجاوزاً كبيراً كل الأعمال التي تنازلت نظرية الوظائف ، أو الجيومترية حتى منتصف القرن على الأقل . وقد ساعدت نظرية الأعداد ، مع الجبر الخالص على ولادة الرياضيات الحديثة كما استمرت ضمن مفهوم القرن العشرين .

التطابق أو الموافقة : ان مفهوم التطابق - أو بصورة أدق الترقيم بحسب المطابقات وعلم المصطلحات ، قد ادخله غوس منذ ان وضع كتابه .

« اذا قسم عدد a الفرق بين عددين c و b ، فيقال ان c و b «متطابقان بحسب a » والا فهما غير متطابقين . ويسمى « النموذج . وكل من العددين c و b ، «كقيتين» للآخر في الحالة الاولى ، و« غير قيتين» في الحالة الثانية . ورمز الى تطابق عددين بهذه الاشارة \equiv ، ونضيف اليها عند الضرورة النموذج محصوراً بين هلالين من ذلك مثلاً . $-7 \equiv 15 \pmod{11}$ ، $-16 \equiv 9 \pmod{5}$.

هذا التوسع في مفهوم المساواة ، والذي فضل كوشي Cauchy تسميته « بالتعادل » هو اول مثل في طبقات التعادل ، تعادل لعب دوراً مهماً في كل مجالات الرياضيات المعاصرة .

ان مطابقات الدرجة الاولى ، على الاقل عندما يكون النموذج اولياً ، لا تتعرضها صعوبات خاصة . ولكن مطابقات الدرجة الثانية تطرح مسألة البقايا الرباعية . في القرن الماضي حقق ليجندر سنة (1785) قانون التماكس الذي كان أولر Euler قد درسه بعمق . ومنذ (1796) كان غوس الذي أثبتته بدقة ، قد اعطى عنه ست بيانات كما اهتم بهذا القانون أيضاً فيها بعد كثيرين منهم : ديريكلي وكرونيكر .

الاعداد الخيالية عند غالوا Galois : ان المطابقة ذات الدرجة n ، بالنسبة الى نموذج أول p له ، على الاكثر n من الجذور عندما يكون $p > n$.

ونظرت لغالوا في سنة (1830) الفكرة العبقريه بادخال اعداد وهمية خيالية سميت « خياليات غالوا » ، مشابهة للخيال الوهمي i في الجبر ، مما اتاح اعطاء كل مطابقة عدداً من الجذور الصحيحة n .

وتشيل هذه النظرية الجديدة من قبل غالوا كان غريباً الى حد ما . ولكن ديدكين Dedekind ، وقد قلده سيرت Serret في فرنسا ، رد هذه الطريقة الى دراسة للمطابقات ، تتعلق نسبياً بمعيار عددي p ، ومن جهة اخرى بالنسبة الى معيار هو « متعدد الحدود » اول مبني على جسم البقايا من المعيار p ولم يكف ادخال غالوا للجذور الخيالية في المطابقات الى احداث توسيع مهم في نظرية الاعداد ، بل فتح الطريق الى تعميمات واسعة في القواعد التي تم الحصول عليها بفضل الطرق الكلاسيكية ضمن مسائل تشبه مجموعات المتطابقات الخطية .

الاشكال الرباعية : في نظرية الاعداد يعتبر الشكل الرباعي تعبيراً منسقاً من الدرجة الثانية بالنسبة الى المتغيرات x, y, z, \dots لا ترتدي الا قيماً صحيحة ونسبة تكون فيها المضاربات بذاتها أعداداً صحيحة ونسبية . وإذا كان هناك متغيران فان الشكل يسمى ثنائياً ، وعند وجود ثلاثة يسمى ثلاثياً ، الخ . والعدد المعين يوصف بأنه قابل للتمثيل بالشكل عندما يمكن اعطاء المتغيرات قيماً تساوي شكل العدد المعين .

ان أول فكرة في التحول ، وفي الاختزال وفي التعادل بين الاشكال الثنائية تعود الى لاغرانج (1767) ، وقد عاد ليجندر في كتابه (محاولة) ، السنة السادسة ، ثم سنة (1808) الى نفس هذه

البحوث واكملها . وحسن غوس اعمال لاغرانج فكتب في كتابه « بحوث » :

« لما كان الكثير من الأشياء التي عالجناها حتى الآن ، قد سبق وعولجت أيضاً من قبل جيومترين آخرين ، فالتنا لا نستطيع السكوت عن اعمالهم . لقد قام لاغرانج ببحوث عامة حول الأشكال وتعادلها (1773 و 1775) حيث اثبت بشكل خاص انه ، بالنسبة إلى مطلق محدد معين يمكن العثور على عدد متناه من الأشكال بحيث ان أي شكل من ذات المحدد يتعادل مع أي واحد منها ، وأنه قياساً على ذلك ، فان كل اشكال محدد معين يمكن ان تتوزع طبقات ويعدها اكتشاف ليجندر عدة سمات أنيقة في هذا التصنيف ، إنما كانت في معظمها عن طريق الاستقراء ، ونحن نقدمها مع التبينات ثم ان احداً لم يفكر حتى ذلك الحين بالتمييز بين التعادل الثلاثي المناسب وغير المناسب الذي يعتبر استعماله حساساً في البحوث الدقيقة .

ان المسألة الشهيرة ، وهي العثور على كل الحلول ، وباعداد صحيحة ، للمعادلة العامة من الدرجة الثانية ذات المجهولين قد حلها تماماً لاغرانج سنة 1767 . وقد سبق لأولر من قبل ان تطرق لذات الموضوع ولكنه قصر بحثه على استخلاص كل الحلول من حل واحد افترضه معروفاً . ثم ان مناهجه لم تعطي كل الحلول الا في عدد قليل من الحالات .

واستمر عمل غوس يجتذ المركز الرئيسي في الادب المتعلق بهذه القضية رغم ان العديد من طرقه قد بسطت عملياً من قبل ديريكلي ، وبدرجة أقل من قبل أرندت Arndt ومن قبل مرتن Mertens .

في سنة 1851 طور هرميت طريقته الأساسية في الاختزال المستمر . وبذت النظرية الجيومترية التي ادخلها هـ . ج . س . سميت في سنة 1876 ، والمطبقة من قبله على الوظائف القياسية البياضوية ، والمبسطة فيما بعد من قبل هورفيتز Harwitz سنة (1894) ، ومن قبل كلين (1896) (1890 - 1896) ، ومن قبل هيرت (1916 - 1917) . وهناك غاية مماثلة توصل اليها ديديكين Dede-kind سنة (1877) وهورفيتز سنة (1881) بواسطة تعادل الاعداد المعقدة .

واعطى سيلن Selling سنة 1874 طرقاً مهمة في الاختزال ، اختزال الأشكال المحددة وغير المحددة . وفي سنة (1880) قام بوانكاريه بتوسيع ونشر طرق تمثيل الاعداد : \sqrt{D} ، $a + b\sqrt{D}$ ، بواسطة نقاط وأشكال وبواسطة شبكات ، ثم بنى في سنة (1881) وسنة (1905) لا متغيرات حسابية تجاوزية - ودرس كرونبيكر Kronecker سنة (1883) وستوف Stouff سنة (1889) الاختزال والتعادل بالنسبة إلى أنماط خاصة من الاستبدال . ان بحوث ماركوف Markov في سنة 1879 حول الحد الاعلى لأداني الأشكال قد لخصت من قبل شور Schur وفروبينيوس Frobenius سنة 1913 ومن قبل هيرت سنة 1916 .

وبعد 1842 لاحظ ديريكلي وجود اشكال رباعية مزدوجة ، في عنصر غوس الذي سوف يعالج فيها بعد وفام غوس بدراسة أولية للأشكال الرباعية المثلثة وكأنه مجرد استطراد ، بهدف تحديد عدد أنواع الأشكال الثنائية . ثم انه درس بشكل خاص مسألة تمثيل الأشكال المزدوجة بواسطة الأشكال المثلثة . وكان سير (1831) الأول الذي حصل على لا معدلات تتضمن المعاملات من شكل الجاهلي الثاني في كل طبقة من محدد معين ، وكانت طريقته وبراهينه معقدة جداً . وفي كتاب عن كتاب سير

Seeber ، قدم غوس عرضاً جيومترياً بسيطاً للأشكال الإيجابية . ونذهب ديريكلي (1850) الى أبعد من ذلك وعرف توازي الاضلاع المختصر بشكل أساسي والمطابق لكل شكل ايجابي مختزل ، حالاً بالتالي محل حسابات سيرر الالهام الجيومتري . في سنة 1850 - 1851 وضع هرميت نظريات حسابية لاختزال الأشكال الرباعية ذات المتغيرات المتعددة ، سواء كانت محددة أو غير محددة ، وبشكل خاص « اختزال المستمر » . وبذات الوقت بدأ اشتنان دراساته حول النوع والوزن في منتظم وفي نوع ، وحول عدد الطبقات وقدم سيلن Selling في سنة 1874 طريقة جديدة في الاختزال بسطها شارف Charve (1880) بوانكاريه (من سنة 1881 الى 1902) وغوت Got (1913) .

قاعدة فرمات Fermat الكبرى : جسم الأعداد الجبرية المثالية - أكد فرمات في مذكرات شخصية ، استحالة المعادلة المؤلفة من اعداد صحيحة $x^n + y^n = z^n$ عندما يكون $n \geq 3$. ولم يقترح مع ذلك أمام الجمهور الا الحالات التي يكون فيها n مساوياً 3 أو 4 .

وقد حل أولر هاتين المعادلتين ولكنه إذا كان قد استعمل بالنسبة الى 4 فقط المنحدر اللامتناهي ، فانه اضطر بالنسبة الى 3 الى حل للمعادلة $p^3 = p^3 + 3$ مكتب .

يقول « ليس امامنا الا ان نفترض : $(x + y\sqrt{-3})^n = (x + y\sqrt{-3})^n$ » .

هذا الافتراض التحكيمي تقريباً اتاح لأولر ان ينطلق بالمنحدر اللامتناهي . الشيء الملحوظ هنا ، هو ادخال الأعداد الخيالية في نظرية الأعداد . وسار أولر مشوب بعدم الدقة في مجال تعتبر فيه الدقة شيئاً أساسياً .

وللعثور على أرض صلبة ، كان هناك طريقان : الاولى تبقى ضمن حدود العقلاني والواقع وتؤدي الى الدراسة المعمقة للأشكال الرباعية ؛ وقد ذكرنا موجز تاريخها . والثانية اعطت مكاناً للعقلاني وللخيالي بفعل توسيع مفهوم العدد الصحيح . وهذه الطريق الثانية تم فتحها بفضل عمل غوس سنة 1832 ، بعد انبعائه بفعل دراسات حول البقايا الرباعية المزدوجة . وقد اثبت فيها ان قوانين الحساب الاولى تطبق على الأعداد الصحيحة المعقدة $a + bi$ باعتبار a و b عددين صحيحين عاديين .

إلا ان الأساليب الكلاسيكية قد اتاحت للجيندر وديريكلي وضع قاعدة فرمات Fermat عندما يكون $n = 5$ (1825) ولامي Lamé وف . أ . ليبغ V . A . Lebesgue بالنسبة الى $n = 7$ (1840) .

في هذه الاثناء قام كومر Kummer بتبيين القاعدة بعد ان وسع فكرة الأعداد الصحيحة فاشملها الأعداد المعقدة من الشكل : $a_0 + a_1\epsilon + a_2\epsilon^2 + \dots + a_{n-1}\epsilon^{n-1}$.

حيث تكون الأرقام a_i اعداداً صحيحة نسبية و ϵ جذراً أولياً في المعادلة $\epsilon^n = 1$. وظن لفترة انه في الجسم (العنصر) المستحدث هكذا ، كما في عنصر غوس ، ان النظرية الكلاسيكية للعوامل الاولى تنصم تماماً . وهكذا توصل الى اثبات القاعدة . وانفرد ديريكلي ، ان هذا التصمم

خاطيء برأيه . وتوصل كومر ، بصورة جزئية الى تلافي الصعوبة بواسطة ابتكار الأعداد المثالية الحيلية (1844) .

وكان نفس الموضوع يهم ويشغل الفرنسيين وكان موضوع اعمال ومناقشات في كلية العلوم حيث وقع ، حوالي سنة 1846 - 1847 ، لامي وونتزل وكوشي في الخطأ الأول الذي وقع فيه كومر . وهذا الشأن كتب هذا الأخير الى ليوفيل في 28 نيسان 1847 يقول : « ... أما فيما يخص الاقتراح التمهيدي ، فيها يتعلق هذه الأعداد المعقدة ، ومفاده ان العدد المعقد لا يمكن ان يتحلل الى عوامل أولية الا بطريقة واحدة ، وأنت تأسف وعن حق ، في هذا التبيين ، المتهاوي ، فضلاً عن ذلك ، في بعض النقاط الأخرى ، استطع أن أؤكد لك ان هذا التبيين لم يحصل عموماً ، طالما ان الأمر يتعلق بأعداد معقدة ذات الشكل التالي : $a_0 + a_1 r + \dots + a_{n-1} r^{n-1}$ ، ولكن يمكن انقاده بادخال نوع جديد من الأعداد المعقدة أسميتها العدد المعقد » المثالي » .

« وتطبيقات هذه النظرية على تبيين قاعدة فرمات قد شغلتنى منذ زمن بعيد وقد استطعت ان اربط استحالة المعادلة : $x^n + y^n = z^n$ ، المتعلقة بخاصتين من خصائص العدد n ، بحيث انه لا يبقى اسامنا الا البحث في مدى ارتباطها بكل الأعداد الأولى ... » (مجلة الرياضيات الخاصة والتطبيقية ، مجلد 12) .

في سنة 1849 وضع كومر قاعدة فرمات وطبقها على كل الأعداد الأولى n والتي لا تظهر بين عناصر صورة $\frac{n-3}{2}$ عدد أولي التي وضعها برنولي Bernoulli . في المنة الأولى ، تهرب فقط من التبيين الأعداد : 37 ، 59 ، 67 . وبعد ذلك حصلت نتائج مهمة ولكن القاعدة الكبرى التي وضعها فرمات بقيت في منتصف القرن العشرين احجية غير محلولة في العلم . الا ان اعمال كومر فتحت المجال امام نوع جديد من البحوث ، هو نوع أجسام الأعداد الجبرية . ان نظريته حول الأعداد المثالية حولها بشكل خاص ديديكين Dedekind سنة 1871 الى نظرية المثل التي بدت من اخصب النظريات .

هذه النظرية حول أجسام الأعداد الجبرية هي نهاية أعمال القرن التاسع عشر حول الجبر من جهة ، وبشكل فريد نظرية المعادلات ، وحول نظرية الأعداد من جهة أخرى . انها إحدى المصادر الأكثر غنى حيث يستمد الرياضيون في القرن العشرين . نذكر من بين هؤلاء الرياضيين الذين اشتهروا بهذه النظرية : ر . ديديكين Dedekind ، R . ج . فروبينوس G . Frobenius ، د . هيلبرت D . Hilbert ، - الذي يعتبر تقريره حول نظرية أجسام الأعداد الجبرية (1897) بناء ذا أهمية أساسية - و آ . هورفيتز A . Hurwitz ، ول . كرونكر Kronecker و هـ . ويبر H . Weber .

التوزيع المترافق للأعداد الأولى : اذا كانت قاعدة فرمات قد وجهت بوضوح نظرية الأعداد نحو توسيعات مفهوم العدد الصحيح ، ووضعها باتصال دقيق وحميم مع الجبر ، فإن مشاكل أخرى ، من مخلفات القرون الماضية مالت بهذا المفهوم نحو نظرية الوظائف وبشكل خاص نحو نظرية الوظائف التحليلية .

ويتعلق الأمر من جهة بموضوع توزيع الأرقام وهي مسألة اقترحها أولر ، حول غط المسائل الحسابية القابلة لاستعمال السلاسل الكاملة . كما يتعلق الأمر من جهة أخرى بمسائل التوزيع المترافق للأعداد الأولى (وهي مسائل اشارها ليجندر) ، مسألة وورنغ Waring (تحديد عدد التمثيلات لعدد n كمجموع لعدد من القوى k^m ايجابية) ومسألة وورنغ هذه ذات علاقة بنظرية الأشكال وبالقاعدة المستقاة من غولديباخ Goldbach (كل عدد مزدوج هو مجموع عددين أوليين مفردين 1742) .

وهذه المسائل أوجبت تدخل غط من الوظائف التحليلية اشتهرأ وظيفة زيتا من ريمان Zéta de Riemann . من المعلوم ان السلسلة $1 + \frac{1}{2^s} + \frac{1}{3^s} + \dots + \frac{1}{n^s}$ تتلاقى اذا كان القسم الحقيقي من (السلسلة S) اعل من 1 . ان حده هو اذا متعلق بـ S ، والوظيفة أو العلاقة زيتا المحددة بالنسبة الى القيم المتوافقة مع S .

وقد فكر غوص ، وهو ابن 14 سنة (1791) بصورة تجريبية انه اذا كان $\pi(X)$ هو العدد الذي تتألف منه الاعداد الأولى الأقل من X فإن $\pi(x) \approx \frac{x}{\log x}$ بالنسبة الى الاعداد الكبرى . وعمل ليجندر ، وبصورة مستقلة عن غوص ، بأسلوب تجريبي فأكد (السنة السادسة من الثورة الفرنسية) ان $\pi(x) = \frac{x}{A \log x + B}$ ثم اوضح سنة (1808) ان $\pi(x) = \frac{x}{\log x - 1.08366}$ تقريباً . واعتمد ديريكلي Dirichlet هذه النتيجة قبل سنة (1838) ولكنه استبدلها فيما بعد باللوغاريثم المتكامل بالنسبة الى x . وبالنسبة الى حاجات نظرية الاستبدال اعلن ج. برتران J. Bertrand سنة (1845) القاعدة التالية : بالنسبة الى كل عدد n أصل من 6 يوجد على الأقل عدد أول واقع بين $\frac{n}{2}$ و n . وقد حققه بالنسبة لـ $n < 6 \cdot 10^6$. وبين « تشيبيشيف Tchébychev قاعدة برتران سنة (1854) وبين في سنة (1851) ان القيمة التي اعطاها ليجندر لا يمكن ان تكون قيمة مقاربة (x) . وكان الأول في استعمال التحليلات الدقيقة في هذه المسألة ، وتبعه في سنة (1859) ريمان الذي استخدم وظيفته « زيتا » ، وهي حالة خاصة مهمة في سلاسل ديريكلي Dirichlet ، ثم استعملها فالي بوسان Vallé - Poussin ، وج. هادامار J. Hadamard ، ولاندو Landau الذين وسعوا حقل البحوث بحيث شمل توزيع الاعداد الأولى المتتمة الداخلة في سلاسل معينة أو في أشكال معينة .

ويمكن من أجل حل مسألة وورنغ Waring ، البحث عن عدد $g(k)$ بحيث ان كل عدد يكون مجموع $g(k)$ بقوة بـ k^m . ويمكن أيضاً البحث عن عدد $G(k)$ بحيث ان أي عدد بالغ الكبير يكون مجموع $G(k)$ بقوة k^m في أقصى حد .

وكان ليوفيل أول من خطا في هذه المسألة عندما اثبت سنة (1859) وبشكل بدائي ان $g(4)$ موجود وهو أقل من 53 . وبين وبغريش سنة (1909) ان $g(4) \leq 37$ ، ولكن في الوقت الحاضر لا نعرف أي عدد قابل للتضيق الى أكثر من 19 مربع مزدوج .

واثبت دافيد هيلبرت سنة (1909) ، بالنسبة الى كل قيمة k ، وجود عددين $g(k)$ و $G(k)$. واستطاع اثبات - بهذا الصدد وبواسطة المتكاملات المحددة - وجود - وبالنسبة الى كل

قيمة k - مماثلات جبرية مشابهة للقيمة التي اتاحت لليوفيل ان يضع ويثبت وجود $(4) g$.

الاعداد المتسامية : منذ العصور اليونانية القديمة عرف العلماء الرياضيون الكميات غير القابلة للتجذير والتي أصبحت مع تطور المفاهيم واللغة الاعداد غير القابلة للتجذير . وكان يُشك من زمن بعيد ان بعضاً من هذه الأعداد مثل π مثلاً ، لم تكن حتى اعداداً جبرية أي انه كان من المستحيل العثور على معادلة جبرية وعلى مضاربات جذرية تكون هي جذورها .

ان لوغاريثمية الكسور المستمرة بينت لأولر وللأغرانج Lagrange ان جذور المعاملات من الدرجة الثانية يعبر عنها بواسطة الكسور المستمرة الدورية .

وفي سنة (1844) عثر ليوفيل على سمة في تطوير كل عدد جبري بحيث يصبح كسراً مستمراً ، وبين أيضاً انه بالامكان وضع كسور مستمرة لا تنصف بهذه الصفة ، الأمر الذي جره الى « طبقات واسعة جداً تتعلق بكميات ليست قيمتها لا جبرية ولا قابلة للاختزال في لا جذريات جبرية » . انها « الاعداد المتسامية التي وضعها ليوفيل » . واعمال جورج كانتور حول المجموعات قد اثبتت فيها بعد وجود جبهة من الاعداد الأخرى المتسامية .

وفي سنة (1872) حصل هرميت على نتيجة أكثر دقة بمعنى من المعاني من النتيجة التي حصل عليها ليوفيل . وقد استطاع ان يثبت بكل دقة تسامي العدد e .

وبين ليندمان Lindemann في سنة (1882) تسامي π وذلك اثناء عمله في نفس الاتجاه الذي سار به هرميت .

الفصل الثالث

الاحتمالات والإحصاءات

ان الغاية الأساسية من هذه الدراسة هي تاريخ تطور الفكر الاحتمالي والاحصائي بخلال الفترة الممتدة من لابلاس وغوس إلى السنوات التي تحيط بسنة 1900 .

ان هذا الفكر قد تكون بفعل المفاهيم الجديدة . وان الكثير من هذه الأفكار الجديدة قد بدا وكأنه تقدم طبيعي في مجال المسائل التي يطرحها علم البيولوجيا وخاصة الوراثة . فضلاً عن ذلك كان هناك تصورات احتمالية شديدة العمومية أتت ، أما عن طريق الألعاب بالذات ذات الامتداد الطويل ، او عن طريق المسائل الفيزيائية . وقد درست بذاتها باكثر ما يمكن من العمومية من قبل المعنيين بالاحتمالات . وهكذا اثبتت من جديد تحسينات جديدة وقوية جداً وأدخلت على المناهج التحليلية ، التي من شأنها التلاعب والسيطرة على مفاهيم التطور الاحتمالي التي عملت عادة على إكمال وعلى اغناء المفاهيم القديمة الأكثر تعلقاً بالاحتمية . . اننا سنعرض وندرس هذه المعاني المتنوعة ، ويرونها ونموها .

مفهوم الترابط : ندرس أول الأمر ، ومن هذه الزاوية فكرة الترابط ، او العلاقة الاحتمالية ، او العلاقة العرضية الاتفاقية .

من المؤكد انه بالامكان القول ان هذا المفهوم ينبثق من فرضية الاحتمالات المركبة ، هذه الفرضية التي تبين ماهية الاحتمالات غير المستقلة ، وانه لا بد من الترتيب حتى يخرج كل شيء من هذا البذر . وكان لا بد مع ذلك من الانتظار حتى سنة 1888 - 1889 ، حتى يرى غالتون Galton بوضوح ، (ويعبر عن) ماهية العلاقة الترابطية ، أي الشكل أو الكيفية التي تربط قانون الاحتمالات ، في احتمال ما ، بالقيمة المفترضة والمحددة في احتمال آخر . لقد اثبت غالتون ، بالنسبة الى جمهرة من الابناء (باعتبار الاحتمال هو القامة) الابناء الذين لأبائهم قامة محددة . ويتأثير من داروين Darwin ، ويصورة خاصة بتأثير من كتابه المهم : « حول نشوء الأنواع ، عن طريق الانتقاء الطبيعي » (لندن 1859) ، أنشأ فرنسيس غالتون (1822 - 1911) « المدرسة الاحيائية القياسية biometrique

الانكليزية والتي تقضي بخضوع البيولوجيا للأساليب الاحصائية . ونشر في سنة 1887 كتابه « الشاب العائلي في البنية »، ثم في سنة 1889 نشر كتابه « التوارث الطبيعي » . ويبدو بوضوح من خلال هذه الكتب ان الباحث ، (في البيولوجيا ، وفي غيرها من المجالات) يعثر فعلا ويقيس ابعاداً ليست مستقلة عن بعضها البعض . ويبدو بوضوح تام انه لا لابلاس Laplace ولا غوس بعده لم يفكرا هذه الحقيقة العلمية :

وبالتأكيد ان نفس الشيء قد حصل بالنسبة الى برافي Bravais ، الذي كثر الكلام عنه ، في انكلترا بشكل خاص . وهناك خطأ ارتكبه كارل بيرسون Karl Pearson ، ناتج عن قراءة سريعة جداً ، تعزو الى برافي وضع نظرية الترابط . وقد تصحح هذا الخطأ ، انما بوقت متأخر جداً (1920) . ان المذكرة التي وضعها برافي : « التحليل الرياضي حول احتمالات الاخطاء في وضع نقطة ما » (1846) ، تحتوي القانون العام الذي يحتوي على متغيرين او ثلاثة متغيرات ، قانون يعمم قانون لابلاس ، المدروس كثيراً من قبل غوس كقانون أخطاء ، وسوف نعود اليه فيما بعد . ويبدو برافي انه كتب وهو بشكل خاص تحت تأثير غوس وهو يعتبر ان الابعاد المقاسة تتبع قانون لابلاس - غوس ، وان هذه الابعاد مستقل بعضها عن بعض . والابعاد المبحوث عنها ، لها ، كأخطاء ، معادلات من الدرجة الاولى تمثل هذه الاخطاء المستقلة . وانه لموضوع جبري ، العثور ، بالنسبة الى هذه المتغيرات المبحوث عنها X و Y ، الشكل التربيعي الناتج عن مجموع المربعات المتأنيبة عن المتغيرات المستقلة m, n, p .

وظهرت حادثة ملفتة ، قد أثارت اهتمام كارل بيرسون Karl Pearson . فقد صرح برافي Braavais ، ان المتغيرات المشتركة m, n, p تدخل على X و Y ترابطاً (وقد استعمل برافي هذه الكلمة الأخيرة) . ولكن لم يكن هناك على الاطلاق من شبيه للعلاقة الاحتمالية بين السمات المقاسة ، وارد في مذكرات غوس ، (1809 - 1823) ولا في مذكرة برافي التي تستلهم مذكرات غوس .

وبالمقابل ، ادخل غالتون Galton في سنة 1877 ، وهو يتكلم عن « القوانين النموذجية في الوراثة عند الانسان » ، فكرة المتوسط المشروط والذي نسميه نحن اليوم (y/x) ، امل رياضي في للشوائي y ، عندما يعطى العشوائي x قيمة معينة . انه هنا قد تكلم عن القلب او الارتداد ، ثم عن التراجع ، لكي يميز ، في حالة وراثة القملات ، عودة الابناء الى قامة عرقهم . وهناك ظاهرة أخرى ملحوظة جداً ، هي انه ، حول المتوسط المشروط ، يكون التوزيع المشروط اقل من التشتت العلم او التوزع العام . وهكذا تظهر ، في حالة هذه القوانين الآسية ذات المعاملين سمتان رئيسيتان من سمات الترابط العرضي هما : هذا التغير في المتوسطات المشروطة (المسمى تراجعاً) والنقص في التشتت المشروط . هذه المدرسة اليومرية ، والتي ندين لها بالكثير ، احييت بفضل غالتون وولكون Weldon وكارل بيرسون Karl Pearson واسس هذا الأخير المجلة المسماة «بيومتريكا» في سنة 1901 .

الحركة التعاقبية : هناك مظهر مختلف جداً في القوانين الاحصائية ، في مجال البيولوجيا ، ظهر مع غريغور مندل Gregor Mendel (1822 - 1884) ، الذي نشر ، في سنة 1865 كتاب Versuche über Pflanzenhybriden . وهي نتائج التهجين الحاصل في نبات الحمص في بستان حول اللير

(يراجع أيضاً هذا الشأن ، في الفصل الرابع من الكتاب الثاني) . ولكن أحداً لم يتبه هذه النتائج . ومات مندل دون أن يسمع أي صدى لما أعلنه . ولكن هذا الشيء كان يشكل ثورة إبداعية . وكان من الواجب ، للتبث منه ، انتظار إعادة اكتشافه من قبل تشرماك Tschermak في سنة 1900 ومن قبل كورنس Correns وفري Vries اكتشاف قوانين مندل التي أصبحت الآن أساس علم الوراثة .

وعند إعادة الاكتشاف هذه قامت مدرسة الاحصائيين والبيومترين ، التي درست نفس موضوع قوانين احصاء الوراثة بمعارضة المنديلية معارضة شديدة . لا شك ان قوانين مندل بدت بسيطة جداً في نظر رجال اشتغلوا كثيراً وكانوا يعتقدون انهم حصلوا على نتائج أخرى .

ولكن يظهر ان نتائج القياسات التي حصلت بفضل البيومترين كانت متفقة تماماً مع قوانين مندل ، التي قدمت تفسيراً كاملاً للقوانين التجريبية الملحوظة . وكان يكفي النظر الى القياسات باعتبارها ناتجة عن جمع عدد كبير من العناصر المنديلية . وهذا ما سمي بالتحليل العواملي . وهكذا تم العثور على - وسندا لنتائج لابلاس - لاحقيه - ان القوانين هي تقريباً من نوع ما سمي بنوع لابلاس غوس ، والقيمة التجريبية لمعاملات الترابط ، تفسر بعمومية العوامل المنديلية ، ان هذه الأعمال التي بدأ بها كارل بيرسون Karl Pearson لسنة 1903 ، وتابعها بشكل معمق ر . آ . فيشر R . A . Fischer ، ما تزال في عز خصوتها .

دور كييتي : لا يمكن التغاضي عن ما قام به العالم البلجيكي أدولف كييتي (1796 - 1874) Adolphe Quetelet في مجال الظواهرات الجماعية الاحتمالية . جاء كييتي الى باريس سنة 1823 لسرود تراجع حول علم الفلك ، فتعرف على فورييه Fourier ، وبواسون - Pois son ، ولاكروا Lacroix وعلى فكر لابلاس . وسوف نعود الى ما سمي بقانون الاعداد الكبرى ، والذي طور بواسون سمته العامة . وعاد كييتي متحمساً لحساب الاحتمالات وللقوانين التي أحس بها في العالم المجتمعي . لا شك ان هذا الأمل كان صحيحاً تماماً في مجمله وان الاحصاء ، ومراقبة الجماهير يجب ان تكشف في الغالب منتظمات احصائية ، سواء في المتوسطات ام في بنية التوزيعات .

وكان لكييتي Quetelet تأثير مدهش وفعالية قصوى في تشكيل الجمعيات الوطنية والدولية في الاحصاء وكان له فضلاً عن ذلك موهبة أدبية عظيمة ، وأيضاً الكثير من المجاذبة ، مع قدرة عظيمة على العمل مسخرة لخدمة فضول علمي واسع جداً . وقد نجح في بعض الأحيان نجاحاً جيداً في ادخال بعض المفاهيم مثل مفهوم « الميل الى الانتحار » . وكان شديد الاهتمام بهذا النوع من الكائنات الاصطلاحي في المجتمع الذي أسماه « الرجل العادي » . وهزيء منه جوزيف برتران Joseph Bertrand وحتى باسلوب ذكي وفكري ، ولكن بالامكان الأخذ على جوزيف برتران انه لم ير ان الانسان العادي فيه شيء مهم جداً .

ويمكن الابتسام عندما نسمع كييتي يقول لنا : « ان الصندوق الذي نستجوبه هو الطبيعة » ولكن وكلما لاحظ كييتز Keynes ، يضطر المرء الى التفكير العميق نوعاً ما ان عرضت عليه هذه الملحوظة : « الطبيعة التي نستجوبه هي صندوق » .

قانون الأعداد الكبرى : ان الظاهرات الاحتمالية تشكل احدى الاهتمامات عند جاك برنولي Jacques Bernoulli ، وهناك اهتمام آخر ، يمكن ان يستفاد من كتابه « Ars Conjectandi » وهو هذا الفن القائم على التصويب والذي نسميه اليوم نظرية القرار . وبالنسبة إلى الأوائل الذين ظهروا في الأحداث المكررة غالباً ، في دراسة المجتمعات الإحصائية كثيرة العدد، بدا جاك برنولي انه الأول الذي بين اقتراحاً أساسياً (يسمى أحياناً قانون المصادفة) ويمكن الانصاح عنه بما يلي :

ان دوام النظر لمدة طويلة في تجربة حول الاحتمال الثابت الدائم P ، وذلك بتحديد مطلق تقريب حول P ، وان بينا التواتر الملحوظ E (نسبة النجاحات الى عدد التجارب) ، يمكن ايضاً جعل الوحدة بقدر الامكان اكثر قرباً من الاحتمال ، احتمال رؤية هذا التواتر يقترب من P بالشكل المحدد .

وقامت مبادرات طبيعية تطبق تحديداً هذه القاعدة من الرياضيات . وقد بين دي موافر De-Moivre ، الذي كتب حول هذه المواضيع ، ابتداءً من سنة 1711 كتابه المسمى « فن الافتراضات » الذي ظهر بعد موته ، اي في سنة 1713 ، بين بدقة اكبر ، في سنة 1733 ، ان قانون المغاربة ، مقارنة الفارق الضئيل ، كان القانون الذي سمي فيما بعد ، وفي أيامنا ، « قانون لابلاس Laplace » وغوس Gauss . انه القانون الأول للأعداد الكبرى ، ولكن هذا الأسم الذي أطلقناه عليه أدخله بالفعل بواسون Poisson في كتاب له من سنة 1837 ، بعنوان : « بحوث حول احتمال الأحكام في المادة الخفيفة وفي الشأن المدني » ، وهذه البحوث كانت مسبوقة بقواعد عامة في حساب الاحتمالات . ويقول آخر ، ان عنوان هذا الكتاب الذي يدل بدون شك أولاً على المواد التي كان بواسون يفكر فيها والتي عليها يعلق قراءه الأهمية الأكبر ، هذا العنوان يدل الى أي مدى وجه كوندورسي Condorcet في هذه النقطة لابلاس ، بواسون وكذلك لأكروا ، وكورنو .

ولكن بواسون في هذه الكتاب ، قد شدد على تعميم النتائج التي وصل اليها برنولي ، وموافر Moivre ولاپلاس . وسماها « قانون الأعداد الكبرى » وفي كتابه أوضحها تماماً عندما كتب المعادلات . ولكنه عندما تكلم عنها ، أعطاهما أوسع مجال ، قائلاً ان القليل من الظاهرات يمكن ان يحيد عن هذا القانون : « ان الأشياء من كل نوع تخضع لقانون كوني شامل يمكن تسميته قانون الأعداد الكبرى ، ثم ، من هذه الأمثلة الكثيرة التنوع ، ينتج ان القانون الشامل لكل الأعداد الكبرى هو بالنسبة اليها حدث عام واكيد ، ناتج عن تجارب لا يمكن تكذيبها أبداً » («البحوث» ص 12 وص 146 وما يليها) .

ونفهم الآن الحماس الذي أصاب فكر كييتي Quetelet عندما أقام في باريس . رغم انه كان هناك مجال للمحذر أحياناً . من المعلوم ان بواسون كان يدافع بقوة عن حسابات لابلاس حول كتلة جوبيتر Jupiter ، وكذلك عن الموضوع الملحن من قبل مؤلف كتاب « الميكانيك السماوي » هذا الموضوع الذي تبين في ما بعد انه مبالغ به . وانه بهذا الشأن قال بواسون Poinso « البارع كلمة عن حساب الاحتمالات هي التالية : « بعد احتساب احتمالات الخطأ ، يتوجب احتساب احتمال الخطأ في الحساب » . من المؤكد دائماً انه ، وبحسب الشكل الذي قدمه برنولي بدا قانون الأعداد الكبرى

راسخاً تماماً ، بفضل المدخل المعزول الى موافر Moivre حول التكاملية : $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-i}^{+i} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$:

لابلاس Laplace ونظرية الأخطاء : ان القانون نفسه سوف يبدو بشكل أعم ، ونتيجة برنولي ليست الاحالة بسيطة من حالاته . وان نحن فكرنا بأصل الأخطاء ونشأها ، انخطاء القياس ، يمكن الظن - وهنا تكمن فكرة كبيرة قال بها لابلاس - ان مطلق قياس يمكن ان يرتبط بالظواهر الجماعية الاحتمالية . وبالفعل ان الكمية المنظورة ، سواء كانت قياساً توبوغرافياً أو جيوديزياً ، او اشعاعاً كاملاً من كوكب ما ، الخ . هو ، بالنسبة الى كل واحد من القياسات ، خاضع لتفاعلية شديدة التعقيد والتعريف ، بحيث ان كل قراءة ، في الواقع ، تعمل عملها في كائن ينتمي الى جمهور ضخم من الصور الممكنة . لا شك ان هذه الصور متقاربة من بعضها نوعاً ما ، انما في تفاعلية من الانتاج الصناعي ، وهي بالضرورة مشوبة بفروقات بسيطة ، وهو ما يسميه لابلاس الأخطاء الأولية . وانه هنا تظهر عبقرية لابلاس ، ورغم ما نعرفه عن عبقرية غوس الضخمة ، هناك تفوق واضح حول هذه النقطة . في البداية هناك تصور واضح لعملية محددة ممكنة . فضلاً عن ذلك استطاع لابلاس ان يعتقد ان هذا التراكم في الأخطاء الأولية يمكنه ضمن شروط معتدلة ، ان يؤدي الى قانون شامل صالح بالنسبة الى نتيجة الجمع ، جمع العدد الأكبر من الاحتمالات . وقد فتح لابلاس ، الذي بدا انه فكر في هذه المسألة من سنة 1780 الى 1810 ، واكتشف درياً خصبة هي درب القوانين القصوى لقانون الاحتمالات المتغير ، حيث كان موافر Moivre قد قام بالخطوات الأولى . وقد تبعه تشييفيتش Tchébychev (1821 - 1894) ، وماركوف Markov ، وليابونوف Liapounov ، الخ . والبحوث في هذا المجال ما تزال ناشطة للغاية .

لقد كان لابلاس صاحب فضل كبير في هذه الملاحظة العنيدة لانه سبق ان اعتبر امكانية وجود قانون حول اخطاء الملاحظة ، ذا شكل اولي : $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2s^2}} \frac{dx}{s}$:

وفيها يكون m هو الكمية و s هو مقياس الدقة . أما القانون الآخر فهو : $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2s^2}} \frac{dx}{s}$ ولهذا تسمى المعادلتان القانون الأول والقانون الثاني ، قانونا لابلاس (ويقصد بهما اخطاء الرصد والملاحظة) .

وأعطى لابلاس عن قاعدته تبييناً (عن طريق الدالات المميزة) هو واحد من التبينات المعروضة اليوم . لا شك ان الطريقة الحالية تتميز بدقة لم يصل اليها لابلاس . ولكن العمل كان قد بدأ . وقام ماركوف (1912) بتبسيط وتوسيع التبين الأول الدقيق الذي قدمه تشييفيتش سنة 1887 . نشير ايضاً انه

في سنة 1783 اقترح لابلاس ان يضع جداول للدالة $\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-i}^{+i} e^{-\frac{x^2}{2}} dx$

وكما قال كارل بيرسون ، لقد عرف لابلاس ، منذ ذلك الحين ، ان هذا هو قانون احتمالات يستحق ان يخصص له مكان .

الثلاثي العرضي : ان التعبير الأول عن قانون الأعداد الكبرى ، حيث يتركز قانون احتمال

التردد العشوائي ε أكثر فأكثر حول p ، ان هذا التعبير الأول قد أدخل شكلا من التلاقي يختلف تماماً عن التلاقي العادي في سلسلة ما متجهة نحو حد . وهنا ان مطلق فرق محدد لا يمكن تجاوزه الا ضمن نوع من الاحتمال ، صغير اذا كانت التجربات متعددة . ويقال بوجود تلاقي في p احتمالاً لـ ε نحو p (اذا كان التعبير عسرياً ، فان الفكرة تعود الى برنولي) .

ولكن قد توجد أيضاً تلاحقات عرضية أخرى .

لقد بين دي موافر ، وهو البادئ في هذا ، ان قانون احتمال المتغير المنخفض

$$\varepsilon_n = \frac{f_n - p}{\sigma_n}$$

$$\text{ان الاحتمال } P\{\alpha \leq \varepsilon_n \leq \beta\} \text{ له حد هو : } \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} e^{-\frac{x^2}{2}} dx .$$

هذا التلاقي في القانون هو ايضاً فكرة قديمة جداً .

وبالمقابل لم يظهر شكل آخر من التلاقي - بدا من الطبيعي جداً اخذه في الاعتبار - الا بعد ذلك بكثير . ونشير اليه هنا قبل ان نعود الى هذا الموضوع ، حين سنتكلم عن الاحتمالات ذات الأبعاد اللامتناهية العدد .

ان سلسلة لامتناهية من المتغيرات الاحتمالية ، يمكن التعبير عنها بالعبارة : $A(n, \infty)$ ، باعتبار ان n هو مؤشر صحيح ∞ يشير الى ان مطلق عملية احتمالية قد قدمت قيمة A . ضمن هذه الشروط قد لا يحصل او يحصل انه - بالنسبة الى α معينة - تكون n متغيراً ، ويكون A اذا حد بالمعنى العادي للتحليل . هذا التلاقي بالنسبة الى $A(n, \infty)$ ، ونزوعه نحو احتمال $A(\infty)$ ، هذا التلاقي هو بذاته حدث احتمالي ، نثبت انه يمتلك حقا احتمالا . هذا الاحتمال يمكن ان يكون صفراً أو واحداً ، أو قيمة واقعة بين الحدين . في الحالة التي يكون فيها احتمال التلاقي متساوياً للوحدة يقال ان $A(n, \infty)$ ، هو احتمال اكيد التلاقي ، والتلاقي الأكيد تقريباً والمحدد على هذا الشكل ، جديد ، لأنه يجبر وراه تلاقي الاحتمال دون ان يكون مجزوراً بهذا التلاقي .

وعندها يمكن اثبات ان التواتر ε يمتلك هذه الخاصية . فهو ذو احتمال مساوٍ للوحدة نزاع للتلاقي نحو القيمة p . وعندها نحصل على قانون جديد للأعداد الكبرى يسمى القانون الأقوى للأعداد الكبرى .

ان خصائص التلاقي في الاحتمال ثمينة جداً . وقد وسع تشيبيشيف خصائص التواتر المتغير ε بحيث شملت متغيراً احتمالياً أكثر عمومية ، إنما يمتلك انحرافاً نموذجياً . ان القيمة الوسطى لمحدد من القيم وهو $\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ يلتقي عندها ، بالاحتمال ، وينزع نحو الأمل الرياضي $E(x)$ دالاً على الدور الاساسي $E(x)$. وهنا توجد عمليات خطية . وبصورة أكثر عمومية ، ان فكرة التلاقي في الاحتمال ، لا تتغير ضمن تحول دقيق ومستمر . وهذه الخاصية الأخيرة ، وكذلك التلاقي القوي للقيمة الوسطى ، هما لاحقان للحقبة التي نحن ندرسها . ويوجد اخيراً نوع من التلاقي مفيد وسهل للغاية هو التلاقي في المتوسط .

فلنعرف التلاقي في المتوسط مثلاً بالنسبة إلى المتوسط الرباعي . يتجه العشوائي نحو الصفر بالمتوسط الرباعي ، وذلك اذا اتجهت $E(A^2) = \frac{1}{n}$ نحو الصفر مع $\frac{1}{n}$. ويمكن تعريف هذا التلاقي عندما تكون القدرة مطلقة ، ولكن المتوسط الرباعي هو الأكثر استعمالاً .

هذا التلاقي في المتوسط يؤدي الى التلاقي في الاحتمال . وهنا أيضاً تبدو الكلمة حديثة نسبياً ولكن فكرتها تعود الى بينامي Bienaymé المقتش العام في المالية ، وصديق أوغسطين كورنو Au-gustin Cournot . وإلى تشييتشيف يعود الفضل أولاً باستعمال اللامعادلة التي يبتها بينامي Bienaymé . في التبيين الأكثر بريقاً لقانون الاعداد الكبرى ، او تقاربية احتمالية k من p . ان التقاربية في المتوسط الرباعي ، السهل الاستعمال ، تلعب دوراً مهماً في تطبيقات الفيزياء .

وبإيزات (test) الفرضيات الاحصائية : ان الهدف المقصود بالرصـد ، والتفكير وابداع المفاهيم الجديدة هو فهم العالم بصورة أفضل فأفضل ، ونريد ان نؤمن ونحسن النماذج التي نكونها لنفسنا عن الواقع وعن مختلف نشاطاته وعن ترابطها . لأننا نريد ان نشرح اسلوب تطورها ، ثم التنبؤ بصورة أفضل ما امكنا ذلك . وساء عليه سيت الرياضيات وما تزال تبني ، وكذلك الفيزياء والميكانيك وعلم الفلك والكيمياء . . .

كيف يجري العمل ؟ بالملاحظة وبالتجربة . ثم بمحاولة تطبيق الأفكار المحفوظة من زمن أو بالتخلي عنها . في فرنسا القديمة التجربة تعني المحاولة وتعني التلمس . هذه التجارب أو المحاولات هي الريازات التي بها يتأمن التقدم في المعرفة العلمية . وهناك قانون جديد جاء يدمج في هذه المعرفة عندما تكون متوافقة مع كل الملاحظات . ولكنه يفسر موقعه كقانون عندما يتعارض مع الملاحظة . ويقول آخر اذا نتج عن النظرية استحالة واقعة ، فان رصد هذه الواقعة والتحقق منها يوجب التخلي عن النظرية . وهكذا تذيل وتزول بعض القوانين عندما تزداد دقة المقاييس . ان دوران الأرض حول نفسها مثلاً ليس دوراناً منسجماً ، ودراسة تأرجحات السرعة تتقدم بزيادة دقة مقاييس الزمن ، وكذلك فان القانون الأساسي الذي شكله قانون نيوتن ، والمتلائم بشكل مدهش مع الظواهرات الفلكية لم يستطع ان يفسر الحركة الرأسية في عطارد، وإذا يجب التخلي عنه . ولكن من الناحية العملية يمكن الاحتفاظ بهذا القانون في عدد كبير من الحالات حين يبدو اقتراباً ممتازاً من النسبية العامة . وبدلنا هذا المثل على أن الحكم المرسل حول قياس ما ، إنما يتعلق بدقة هذا القياس .

ولكن قد يحدث ان يعرض لنا اصدار حكم مختلف جداً اذا تعلق الأمر ، لا بكمية محددة بدقة ، بل كما يقال غالباً بكمية تؤثر فيها المصادفة . وعندها تصبح المسألة المطروحة كما يلي : هل نستطيع المصادفة ان تصنع ما نحن نرصده ؟ وعندها يتوجب التوضيح الدقيق . لقد شاهدنا سلسلة من ضربات زهر النرد . ان لعبة الزهر مشروعة اذا كانت حبات الزهر جيدة الصنع واذا كان أسلوب اللعب صحيحاً. واللعبة التي رأيناها هل كانت شريفة ؟

هذه طريقة بهذا الشأن رواها ديدرو Diderot ، وقد استعادها جوزيف بروتان Joseph Bertrand : « ذات يوم ، وفي نابولي ، اخذ رجل من البازيليكات ، وبحضور الاباتي غاليلاني ، بضغ ثلاث قطع من الزهر ضمن قرن ، وراهن على انه يستطيع جلب جملة من الوجه سته . وحقق ذلك في الحال .

وقيل ان هذا الحظ ممكن ، ولكن الرجل نجح مرة ثانية ، وقيل نفس الشيء . ثم وضع الزهر في القرن ثلاث مرات واربع مرات وخمس مرات وكان الزهر يعطي كل مرة ستة . فقال الابائي ان الزهر ملغوم أي انه مصنوع بشكل واحد، وكان الأمر كذلك . وهنا بما ان اللعب كان عن طريق القرن كان الدور للزهر فقط . وعندما أصبحت الفرضية الاحصائية القائمة على اللعبة الشريفة غير ثابتة ، أمام واقعة احتمالها ، أو أساس اللعبة الشريفة ، يعادل $\frac{1}{6^n}$ وذلك في النجاح الذي ذي الرتبة n .

وحدثت صدفة مماثلة تقريباً لولدون Weldon الذي رمى الزهر 315672 مرة فحصل على 106602 نجاح وذلك بالنسبة الى حدث (وقوع خمسة أو ستة) ظن هو ان احتمالته يعادل $\frac{1}{3}$ ان القيمة المحتملة هي 105224 والفارق الملحوظ هو 1378 (احتمالية $\frac{2}{10^7}$) ويمكن التساؤل هل ان المصادفة تنجح هذا .

ونرى اننا نحاول تعميم المسرى المتبع بالنسبة الى قانون النمط الكلاسيكي ونتخلل عن هذا المسعى ان رأينا حدوث ما يعتبره هو مستحيلاً . وهنا نريد ان نرفض قانوناً عندما تحدث حادثة يقول عنها القانون انها قليلة الاحتمال .

ولكن ما هي الحادثة ؟ الفارق بالذات ليس هو الذي احتمالته مستحيلاً . أننا نقول به مجمل الفروقات الأكبر ، وعليه نبي قرارنا وكما تبين في ما بعد ، وبعد تكوين مجموعات أخرى من الرفض ، نتعرض لخطر مزدوج والفرضية المرفوضة يمكن ان تكون صالحة أيضاً ، لان احتمالية الحدث ضئيلة ولكنها ليست معدومة . وهنا لا تكون المخاطرة كبيرة . ولكن عدم رفض الفرضية ، اذا كان الفارق أقل من 1378 ، هو مخاطرة ثانية خطيرة للغاية ، لأن مثل هذا الفارق يتلاءم مع قيم من الاحتمال تختلف كثيراً عن $\frac{1}{3}$.

ومهما يكن من أمر إذا كان H هو الفرضية و E هو الحدث المنتمي الى مجمل في دراسة الرفض ، فان الاحتمالية لكي تحقق الملاحظة هذا الحدث ، هي $P(E/H)$. انها أي الاحتمالية متعلقة ب E بالنسبة الى H ، وهذه الاحتمالية صغيرة جداً ولكنها لا تترك . ولكن بعد تثبيت الحدث E ، تصبح P تابعة لـ H . ويمكن عندها تسميتها واقعية H عندما تحدث E أي تقع . ولكن الرياضات الأولى كانت شبيهة برياضة ولدون . وسلوك السلاسل الاحصائية ، اذا قورن بسلاسل سمويات برنولي ، قد سبق ودرس كثيراً من قبل دورمو (Dormoy 1878) ولكسي (Lexis 1886) اللذين اعطيا نشئت مختلف الظواهرات الديموغرافية واللذين حكوا اجمالاً بأن هذه التوزعات الكبيرة جيداً تتطلب بنية أكثر تعقيداً أي تتطلب فرضيات احصائية أخرى ، غير مجرد السحب الذي أجراه برنولي .

ولكن العمل الذي تفوق جداً على الأعمال الأخرى بفضل اتساع تطبيقاته ، هو عمل كارل بيرسون : « حول طريقة التقرير ، في حالة نظام من المتغيرات المترابطة ، على ان مجمل معين من الانحرافات ، بالنسبة الى القيمة المحتملة هو بحيث يمكن ، عقلاً ، افتراض حصوله بفعل عينات تختار مصادفة » هذه هي المسألة : هل المصادفة استطاعت ان تفيعل هذا ؟ ان الأمر يتعلق واقعاً بالتعميم ، الجيد البين ، تعميم فكرة الانحراف . ونستخدم هنا نوع من الانحراف الرياضي الضابط

من بين الحاصلات المتوقعة والمتوقعة . ويلعب دور الذي يلعبه الانحراف في قيمته المطلقة ، والمجمل E الذي عليه يتركز الحكم هو من غط $\approx \approx$. إن فائدة اختيار \approx تقوم على امكانية حصول قانون احتمالا .

ان قانون الاحتمال هذا قد عثر عليه هلمرت Helmerl سنة 1876، ولكن الفضل الأكبر الذي يعود الى كارل بيرسون يقوم على العثور عليه بعد بحث منهجي حول رياضات الفرضيات الاحصائية ، وعلى تبيانته للدور الضخم الذي يلعبه القانون في هذه الفرضيات .

والواقع ان المشكلة الحقيقية هي في أغلب الأحيان اصعب من ذلك قليلاً، ان ريازة \approx لا تطبق أحياناً الا اذا خصصنا بصورة كاملة القانون الذي تراد ريازته وقد يحدث كثيراً ان يتضمن القانون المراز مقاييس ثابتة ، من ذلك مثلاً حالة تجرية ولدون . ان فرضية الاحتمال $1/3$ غير قائمة ، ولكن يمكن الطلب الى المشاهدات ان تقوم بتقدير هذا الاحتمال ثم في ما بعد النظر هل اصبح التوافق كافياً . وفي ما بعد قدم ر . آ . فيشر R . A . Fischer المقترحات والقواعد التي تطبق على هذه الحال (1922 — 1924) . ويطرح السؤال غالباً بمناسبة هذه الرياضات للفرضيات الاحصائية ، وهل هناك فرق ذو قيمة بين النتائج الحاصلة والنتائج المتوقعة .

مثلاً ، وبسبب الدور الذي يلعبه معامل الترابط في البحوث البيومترية نسأل انفسنا، وذلك في حالة النظرية التي تعطي معامل r قيمته 0.52، ومجموعة مؤلفة من 100 (مئة) ملاحظة تعطي القيمة العملية $r = 0.68$ ، فهل يكون الفرق ذا قيمة أو لا .

مثل هذه المسألة تقتضي معرفة قانون احتمال هذه القيمة التحريية الممكنة ثم تطبيق راتر عليها .

وقد حصل في أغلب الاحيان ، ان قوانين الاحتمال كانت من غط قانون لابلاس ، فأعطت ريازة ماثلة لرياضة ولدون والحل . وفي الحالة التي تمينا ، لم يستطع احد قبل ر . آ . فيشر (1915) R . A . Fisher ان يعثر على قانون احتمال r ، وحتى بعد امتلاكه هذا القانون ، اضطر ر . آ . فيشر ان يخصص جهوداً جديدة لوضع متغير شبيه تقريباً بمتغير لابلاس من شأنه ان يسمح بالتطبيق الكلاسيكي . ونرى كيف ان مثل هذه المسائل ، ذات التصور الواضح نوعاً ما ، يمكن ان تعترضها الصعوبات في حلها . وسوف نعود اليها في الدراسة المختصة لعلم القرن العشرين .

منطلق الاحتمال : لا شك ان لابلاس ، منذ بداية انتاجه ، رأى نظرية الاحتمالات كفرع من المنطق . وفي الاستنتاج من كتابه « محاولة فلسفية حول الاحتمالات » (1814) كتب يقول : « نرى في هذه التجربة ان نظرية الاحتمالات ليست في اساسها الا الحس السليم مطبقاً في مجال الحساب » وأضاف يقول : « نلاحظ بعد ذلك انه في الأشياء ذاتها التي لا يمكننا ان نخضع للحساب ، تعطي نظرية الاحتمالات المنافذ الأكثر وثوقاً التي يمكننا ان نرشدها في أحكامنا » .

ولاحظ ج . بوليا G . Polya بوليا بصواب كلي ، في هذا الموضوع ما يلي : « لا يمكن نسيان المحدث التاوخي ومفاده ان حساب الاحتمالات اعتبره لابلاس والكثيرون غيره من العلماء العظام

وكانه التعبير القريب عن قواعد الاستدلال المحتمل » (ج . بوليا ، نموذج عن الاستدلال المحتمل ، برنستون Princeton ، 1954 ، ترجمة فرنسية بعنوان الرياضيات والتحليل العقلي المحتمل ، مارس 1958) .

وليس لنا ان ننحني بالضرورة أمام الواقعة القائمة على ان هؤلاء المفكرين الكبار يعطون لحساب الاحتمالات ما يسميه بوليا منطق الاستدلال الممكن ، أو مسألة درجات الاعتقاد ، بل يجب علينا ، حسب ما اعتقد ان نأخذها في الحسبان .

ان حساب الاحتمالات يمتاز بنجاحاته الكبرى في مجال ترتيب المظاهرات الجماعية حيث يسود عدم اليقين الفردي فهل نستطيع هذا الحساب الاجراء بالأمل في سيادة النظام في هذا المجال المختلف جداً ؟ كما يلاحظ بوليا ، لا يوجد لها صعوبات مسقة ، فالرياضيات تستخدم في أغلب الأحيان مبادئ متشابهة جداً ، ومناهج ومعادلات تكاد تكون واحدة ، من أجل حل مسائل تبدو مختلفة اختلافاً كلياً .

يذكر أوغستين كورنو Augustin Cournot بهذا الشأن « المعنى المزدوج لكلمة احتمال التي تتعلق مرة ببعض قياسات معارفنا ومرة أخرى بقياس امكانية الأشياء ، بصورة مستقلة عن المعرفة المتكونة لدينا عنها » (عرض نظرية الخطوط والاحتمالات ، 1843 ص : 4) .

في كتاب العلم والفرضية ، طبق هري بوانكاريه Henri Poincare صيغ حساب الاحتمالات (في الواقع صيغ احتمالية الأسباب) على مسألة سيكولوجية : لقد تلاعب فلان بالملك في لعبة الملك فهل يعتبر محاداً ؟ توصل بوانكاريه عن طريق الصيغ القصوى في القيم العددية الى نتيجة مفاجئة . وبين أميل بوريل Emile Borel (في الحظ) انه ضمن فرصيات معقولة نوعاً ما تصح النتائج العددية متحاشية مع الحس السليم . وهذا يعني انه بالامكان الشك في امكانية تطبيق نظرية الاحتمالات ، انما صمم شرط عدم اعطاء أهمية كبيرة جداً لقيم عديدة قاطعة ، ونظرية الاحتمالات قد تبدو مرشداً جيداً في إبحاح بعض المساعي المنطقية وفي بعض الأحكام وصيغ الاحتمالات المركبة واحتمالية الأسباب يمكن ان تعتبر معقولة ضمن تطبيقات تطبق على شيء آخر مختلف عن المظاهرات الجماعية المحتملة الوقوع

من الواضح أولاً ان نظرية الاحتمالات ، احتمالات الأسباب ، منذ محاولة توماس بايس Tho-mas Bayes (وقد نشرت بعد ثمانية من قبل برايس سنة 1764) وتبعها توسيعات لالاس Laplace . ان هذه ، النظرية تهدف الى المسألة العامة المتعلقة في تقدم المعرفة وليس الحساب العددي في بعض الاحتمالات وكذلك الحال في بحوث بول Boole : قوانين الفكر ، 1854 ، مسألة مطروحة في نظرية الاحتمالات ، 1851 . وبصورة خاصة « مسألة تحدي بول » (مجلة كمبريدج ودوبلن للرياضيات ، 1851) تطرح هذه المسألة من جديد مسألة بايس Bayes ، انما بعد تناسي شرط (السببان قد يتواجدان بان واحد) ؛ ان حل هذه المسألة مستحيل ، من جراء هذه الواقعة ، ولم يكن لدى بول الفكرة الواضحة عن الاستقلالية ، فقدم تفسيراً خاطئاً . ولكن من الواضح جداً ان مسألة المنطق هذه صعبة للغاية بحيث لا تترك لمجرد الحس السليم .

وعلى هذا يمكن تحريف قاعدة الاحتمالات المركبة .

نأخذ المسألة الكلاسيكية مسألة المسعى العلمي والتقدم والبحث . يطرح التساؤل حول صحة A . ولكن A يتحكم بـ B . وقد اجريت التجربة فنتي ان B صحيحة . وخارجاً عن هذا الارضاء ، ماذا يمكن القول من جديد حول A ؟

ان الفرضية القائلة بأن A تتحكم بـ B تعني ان ، في المجلد الاساسي H ، كل العناصر التي لها خاصية A لها ايضاً خاصية AB . من ذلك ان المجلد الثانوي A موجود في B ، ويمكننا - نظراً لأن B صحيحة - اعتبار مجمل جديد أساسي B .

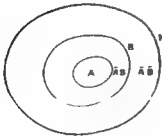
في الرسيمة المدرجة ، يعتبر A مجملًا ثانويًا من B التي هي مجمل ثانوي من H . ونرى ان H متكونة من A التي هي أيضا AB ، وتحلل الى $\bar{A}B$ الى $\bar{A}\bar{B}$. لا يوجد مجموعات ثانوية $\bar{A}\bar{B}$ ، وهذا ما تترجمه الفرضية . وحتى اذا لم يجري الكلام عن احتمالات (اي عن قياس اضافي محدد فوق نوع من الحلقة من المجموعات الثانوية) ، ويكتفى بكلمة اكثر حيادية ، مثل الحصص المملوكة لمجموع ثانوي ، وغير متنازلة مع هذا المجلد الثانوي ، يبقى علينا البحث عن القيمة الجديدة التي يأخذها A مشروطاً بـ B . من الواضح ان ما يمكن تسميته بالحضور النسبي لـ A في B يتجاوز حضور A في H .

ونكون واصليين الى وظيفة π من المجموعتين تتزايد مع A ، عندما تكون B ثابتة ، كما تتزايد ، عندما تكون A ثابتة ، عندما تتناقص H .

وكما هو طبيعي ، اذا كانت حصصنا تترجم الحضور النسبي ، أما لـ A في H ، وأما لـ B في H ، وأما لـ A في B ، ان هذه الحصص المشروطة بـ B لا يمكن الا ان تكبر بالنسبة الى A في H . ان قاعدة الاحتمالات المركبة ترد الى تعريف الاحتمال $P(A/BH)$ مع استخدام القياس المحدد ضمن H ومع وضع : $P(A/BH) = \frac{P(AB/H)}{P(B/H)}$. وبالطبع ان هذه الحصص الخاصة تمتلك أبسط وسيلة للكبر مع مجملها الثانوي لأنها اضافية . وعندها نحصل عن طريق المعادلات الكلاسيكية :

$$B/AH = 1 \quad \text{على} \quad AB/H = A/H \cdot B/AH = B/H \cdot A/BH$$

$$A/BH = \frac{A/H}{B/H} : \text{وأخيراً} \quad A \text{ مجرورة بـ } B \text{ لأن}$$



ان الاحتمالية الجديدة تتجاوز القديمة شرط ان تكون $B(H) \neq 1$ ويقول آخر ان تكون B غير مضمونة سلفاً . وليس من شك ، كما قال بوريل ، ان مثل هذه النتيجة يمكن ان تتوافق مع الحس

السليم . وتطبق عادة ، سواء في البحث العلمي أو في البحث عن المجرم او عن براءة متهم ، أو في السلوك اليومي . ان تقوية الاحتمالية تمكن بالتاكيد متابعتها في حال وجود سلسلة متتالية (B_1, B_2, \dots, B_n) هي تاليات لـ A على اعتبار ان B_n ليست مجسورة بـ B_1, B_2, \dots, B_{n-1} . نشير ، بعد بوليا Polyá إلى استعمال تحليل ممكن واحتمالي مماثل استعمله بحارة كريستوف كولومب : « اذا كانت السفينة قريبة من الأرض ، فانا نرى طيوراً في أغلب الأحيان . واذا كانت السفينة بعيدة عن الأرض فان رؤية الطيور تكون أقل . ونحن نرى الآن طيوراً فمن الأكثر احتمالاً ان تكون اكثر قريباً من الأرض » . ومع بعض من خيبة الأمل ، وبعد رؤية الطيور ذات يوم من الأيام ، بدت الأرض في اليوم التالي أي في 12 تشرين الأول 1492 . (ج . بوليا ، نموذج من الاستدلال الاحتمالي ، مجلد 2 ص 37) .

الميكانيك الستاتيكي والنظرية التحركية في المادة : ان النجاحات الكبرى في الفيزياء الرياضية الكلاسيكية : الهيدروديناميك ، المطاطية ، الترموديناميك والطاوية لم تنس الفرضية الذرية . والحق يقال - وباستثناء الكيمياء - كان بالامكان تماماً ، حسب الاعتقاد الشائع ، الاستغناء عن الذرات ، وعن كل فرضية حول حقيقة الجزئيات التي تشكل المادة . ومنذ منتصف القرن التاسع عشر ، وفي ذهن بعض علماء الفيزياء (مثلاً عند ماكسويل Maxwell) في كتابه بيان حول نظرية الحركة في الغازات ، (1859) ، فرضت نفسها البنية غير المستمرة للمادة . وعلى كل لم تتضح ضرورة النظرية وجدواها ، في عين الفيزيائيين ، معظمهم ، الا حوالي سنة 1900 تقريباً . (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة ج . الارد . G. Allard ، الفقرة 9 ، الفصل السادس من القسم الثالث) .

لقد اهتم ج . ك . ماكسويل (1831 - 1879) اهتماماً شديداً بحساب الاحتمالات . وفي سنة 1850 ، وهو ابن 19 سنة ، كتب ان المنطق الحقيقي في هذا الكون هو حساب الاحتمالات . وفي نظره يعني حساب الاحتمالات وظائف التوزيع للسرعات . وبحث وحصل على وظيفة التوزيع في حالة التوازن الحراري الستاتيكي . وفي سنة 1868 صرح بما يلي : « هذا اذاً شكل ممكن للتوزيع النهائي للسرعة ، وانه الشكل الوحيد أيضاً » .

وقد حصل بطرق غير دقيقة جداً على هذا التوزيع وبين ان هذا التوزيع يستمر بفضل الصددمات بعد تحققه . وبالطبع ، ورغم ان هذا التوزيع كان من قوانين لانلاس ، فلم يكن الأمر امر الرابط مع القوانين الحدود التي تدخل بفضل اساليب الجمع ، وهي نتائج غير معروفة جداً في تلك الحقبة .

يجب ان لا نندش من هذه الأنواع من الركود . وللفيزيائي مشاكله وهو يبحث بشأن هذه المشاكل عن التقدم بفضل الرياضيات دون ان يبحث في تجديدها . فضلاً عن ذلك إذا نظرنا الى ان الحركة البرونية brownian قد رصدت من قبل ر . براون R. Brown ، سنة 1827 ، وانه كان من الواجب أولاً انتظار 50 سنة (1877) حتى يعزو كاربونيل P. Carboneille هذه الحركات الى الاضطراب الحراري ، وانه في سنة 1906 فقط وضع سمولوشوسكي Smolouchouski وانشاين Ein-stein نظريتها ، وان جان برين Jean Perrin وضع الملاحظات الحاسمة حولها ، نحكم على بطله تسرب هذه الأفكار التي تبدلنا الآن طبيعية جداً ومنسجمة جداً مع أفكارنا .

وطور لودويج بولتزمان Ludwig Boltzmann (1844 - 1906) الذي اهتم منذ 1871 بنظرية الغازات، التبينات المتعلقة بتوزيع ماكسويل. وبالطبع، استعمل أيضاً حساب الاحتمالات الذي قال عنه: «يمكن الشك بشرعية تطبيقات حساب الاحتمالات التي حصلت ضمن هذا الكتاب. ولكن هذا الأسلوب من الحساب قد وضع موضع التجربة في عدد كبير جداً من الحالات الأكثر خصوصية وانني لا أرى حقاً أي سبب يمحلي على المنازعة في تطبيقه على الظواهر الطبيعية التي هي من صنف أكثر عمومية». (Vorlesungen über Gastheorie. t. I, Leipzig, 1895، مجلد I، لينزغ 1895). الواقع، وكما هو الحال بالنسبة الى مكسويل، لا يبدو حساب الاحتمالات وكأنه قد نشأ من اللاتيقين، بل يتأتى من الرغبة في وضع ترتيب لمسألة الحتمية الكثيرة التعقيد، بواسطة مفاهيم المتوسطات، والتوزيعات النشئية، وقوانين التوزيع. وقد استبق بولتزمان رؤية تطور التوزيع عبر الزمن عن طريق تحليل الصدمات تحليلًا جر الى معادلات الشهيرة في التكامل التفاضلي والتي هي، في وقتنا الحاضر، موضوع أعمال رياضية رائعة.

ونظراً الى المجمع الاساسي في التعقيدات الممكنة والتي استخرج منها احتمال حالة العيان،

$$\text{فادخل المعادلة الوظيفية التالية: } H(t) = \iiint f \log f \, du \, dv \, dw$$

باعتبار ان $f(u, v, w, t) \, du \, dv \, dw$ هي التوزيع البدائي، الذي ليس، في الترقيمات الحالية، سوى: $E(\log f)$. وهذه القيمة تتناسب مع لوغاريتم احتمالية حالة الغاز: $S = k \log P \dots - kH$ ؛ انه القصور الحراري، وانه أيضاً ما سوف نلتقيه تحت اسم اعلام.

نعود الآن الى كتاب: «المبادئ الاولى في الميكانيك الستاتيكي، مشروحة بعد الرجوع بشكل خاص الى القواعد العقلانية في التيرموديناميك» (1902) كتاب وضعه جوزيا ويلارجيس Josiah Willard Gibbs (1839 - 1903). ويتعلق الأمر هنا أيضاً بقوانين التوزيع، انما توزيع مجمل الانظمة الميكانيكية المتناهية العمومية

كتب جيبس في مقدمته يقول: «من المؤكد اننا نتجاوز الضمان ان نحن اقمنا نظرية على فرضيات نسبية حول تركيب المادة»، ويعلها: «لا يمكن ان يكون هناك خطأ في الحساب، فيما يتعلق بتوافق الفرضيات مع الوقائع، لأننا لا نقيم أيًا منها على الافتراض».

كتب جاك ديكلو Jacques Duciaux بهذا الموضوع يقول: «ان الصيغ تطبق على جزئيات هي في مختلف الحالات، ولكن اللعنة ما اذا كانوا يقولون لنا ما هي هذه الجزئيات ولماذا هي موضوعة في هذه الحالات...» والشيء العجيب حقاً، هو ان كل هذا الاضطراب الرياضي يؤدي أخيراً الى توضيح خصائص العضلة والكاوتشوك». (علم اللاتيقين، باريس 1959).

ان النماذج المقترحة من قبل جيبس تتضمن ولا شك فرضيات، ولكن هذه الانظمة المسماة قانونية تمتلك مقياساً يتصف بصفات الحرارة. وبالطبع ان مقل الاحتمال هو القصور الحراري (لأن هذا المقل هو من حيث التعريف لوغاريتم الاحتمال). هذا التوافق يتأمن اذا كان عدد درجات الحرية كبيراً جداً. ان كتاب جيبس هذا واضح جداً، أكثر بكثير من مذكرات ماكسويل وبولتزمان. وعنه تكلم مارسيل بريلوين Marcel Brillouin، في المدخل الى الطبعة الفرنسية، وباعجاب كبير،

انه بناء قوي وأصيل . ان القرن العشرين ، كما سنرى ، اضاف الى وضوح جيبس دقة وقوة الوسائل التحليلية الجديدة .

الكائنات الاحتمالية العامة : ان تطور الاحصاء أدى إلى ادخال كائنات احتمالية كثيرة التعقيد للغاية . وبالنسبة الى كل فرد من جماعة اذا ميزنا ميزة واحدة ، نحصل على الحالة الأيسر في المتغير الاحتمالي أو العدد الاحتمالي . ولكن الفرد يحمل صفات متنوعة (ونقصد بذلك ان اختياره بعد ان يقع يحدد عدة صفات) . نتصور مثلاً أننا ندرس لدى مجموعة من الأفراد احجام الأجزاء المختلفة من الهيكل العظمي ، واننا نتساءل هل هناك من ترابط بين هذه الصفات . ويمكن الذهاب الى أبعد من ذلك وذلك بمقارنة قامه انسان ما بقامه اجداده . وهذا يعطي الكثير من الصفات التي من المفيد دراسة ترابطها . وقد يمكن ان يتواجد عنها عدد لا محدود ؛ مثلاً هيئة المطر بخلاف سة ما يترجم بوظيفة احتمالية ، مثل المحيط الجممجي لفرد ما ، وخطوط يده . الخ . .

ان الفرد بعد وقوع الاختيار عليه ضمن المجموعة ، عندها تتخذ كل الاحتمالات التي ترتبط به قيمة محددة . ان الفرد هو ما يمثل من وظائف في الاحتمال الأساسي . وبالطبع ان هذه الوظائف ليست بالضرورة مرتبطة ببعضها البعض ، وهذه مسألة مهمة جداً على العموم وهي مسألة علاقة هذه الوظائف وما إذا كانت مستقلة أو غير مستقلة وإلى أي نقطة يمكن لبعض القيم المحددة فيها ان تكون قادرة على تحسين المعرفة العرضية للاحتمالات التي تبقى حرة .

ان التطور في الزمن يدخل أيضاً كائنات احتمالية يمكن أن تكون كثيرة العدد ، أو ذات ابعاد لا حصر لها . تلك هي حال سمة المطر بخلاف السنة . ان القسم الممتد يؤدي الى رصد الريح العام ، وهو وظيفة احتمالية . ان مسألة افلاس اللاعبين ، المعالجة منذ بدايات حساب الاحتمالات ، سنة 1657 ، تنتمي الى هذه الفئة .

درس الفونس دي كندول Alphonse de Candolle ، سنة 1873 ، مسألة انطفاء اسماء العائلات . واهتم غالتون Galton بهذا الأمر كثيراً . ولكن يبدو انه قبل أميل بوريل Emile Borel (الاحتمالات القابلة للعد وتطبيقاتها ، 1908) لم يقوم احد بوضوح ، بالنظر الى مجموع سلسلة غير محدودة العدد من التحارب . ان الحدث الاحتمالي الأساسي يقوم على عدد غير محدود من ضربات الحظ هنا .

نعد مثلاً عدداً غير محدود من الصناديق حيث نأخذ احتمالية إخراج كرة بيضاء قسماً هي : $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ والمسائل المطروحة هي من النمط التالي: ما هي الاحتمالية P لسحب عدد غير محدود من الكرات البيضاء ؟ بين أميل بوريل ان P تتعلق بالسلسلة $S = p_1 + p_2 + \dots + p_n + \dots$ وفي هذه الحال وهذه السلسلة يمكن أن تكون متلاقية أو متفارقة . فإذا تلاقى S فإن $P = 1$ صفراً . وفي هذه الحال يكون عدد النجاحات احتمالية محدودة قيمتها : صفر ، 1 ، 2 ، ... K . ولكن القيمة ∞ لا تتحقق (على الأقل ان احتمال هذا الامكان معلوم) .

وبالمقابل اذا تفارقت S فإن $P = 1$. توجد احتمالية وحدة من أجل سحب عدد لا حد له من

الكرات البيضاء ، انها الحالة المتحققة بشكل خاص عندما تكون P ثابتة .

سوف نرى بدراسة اميل بوريل ان الاهمية العملية لمثل هذه النتيجة التي تفترض عدداً غير محدود من التجارب ، تستحق امعان النظر . ولكن اهميتها النظرية متناهية الكبر . ويتوجب ايضاً انصاف الأعمال الاصلية جداً التي قام بها ل . باشلييه L. Bachelier الذي بين ، ابتداءً من 1900 الرابط القائم في نظرية الانتشار مع المسارات الاحتمالية المقترنة بتفاعلية امكانية احتمالية .

في كتابه « حساب الاحتمالات » (1912) نجد في نظرية انتشار الاحتمالية المعادلة ذات

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} - \frac{4}{\sigma^2} \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad \text{المشتقات الجزئية لحركة الاحتمالية :}$$

التي هي ، ظاهراً ، معادلة انتشار ومعادلة حركة الحرارة . سوف نتكلم في النهاية عن مسائل محلولة وعن مسائل طرحها هنري بوانكاريه ، وقد نشر كتابه : « دروس في حساب الاحتمالات » ، الذي علمه سنة 1893 - 1894 ، في سنة 1895 (والطبعة الثانية منه المزيده نُشرت سنة 1912) . ومن بين المسائل الكبرى الأخيرة نجد في هذا الكتاب مطروحة ومحلولة مسألة خلط الأوراق ، التي كانت في ذهن المؤلف احدى المسائل التي يطرحها تساوي الاحتمالات عبر الانتقال الى الحد الاقصى .

لماذا يمكن الافتراض - اذا خلط الورق لمدة طويلة - ان كل الانتقالات الممكنة تصبح متساوية الاحتمال ؟ في ذهن بوانكاريه تتخذ هذه المسألة المحددة مساراً تجريدياً . ويتمتع اللاعب باحتمالات متنزعة في ان يجل ترتيباً ما محل ترتيب آخر . هذه الاحتمالات تظهر عدداً شديداً التعقيد P ، ثقله P^n او قوته يعطيان قانون الخلط بعد عدد n من الضربات . وبين بوانكاريه ، بواسطة نتائج ايلي كارتان Elie Cartan ، ان الحد الاقصى هو القيمة الوسطى لـ P .

في آخر كتابه ، صب بوانكاريه تفكيره على مسألة خلط السوائل . وكانت الجزئيات الوردية مصفوفة بشكل عشوائي في الزمن : $t = 0$ ، وتدلنا التجربة انه بعد فترة من الزمن تصبح الجزئيات موزعة بشكل منسجم . وكما نرى ، وكما يصرح به بوانكاريه ، ان الأمر يتعلق بمبدأ أو بقاعدة طاقة principe ergodique . وبين ماكسويل واعلن أولاً هذه الفرضية ومفادها ان المتوسطات الزمنية المأخوذة اثناء مسار ما ترتدي اولها نفس القيمة التي تأخذها المتوسطات الاحصائية المدونة بخلال نسخة المراحل . ويشير بوانكاريه في التفصيل ، الى أهمية وإلى صعوبة الأمر وإلى حالات الاستثناء الممكنة في هذه المسألة التي وضعها ماكسويل بولتزمان . وقد أشار اخيراً الى وهم واضح في هذه العملية الافتراضية التي تتناول تطور الجزئيات ، وأشار الى السهولة الكائنة في عدم الأخذ بالتاريخ السابق (تفاعلية ماركوف Markov) .

ان هذه المسائل التي اُضيف اليها نصف قرن من البحوث الكثير من النتائج الجديدة ، لم تستنفذ بعد . ولكن يبدو ان مفاهيم التفاعلية الافتراضية ، والتطور الاحتمالي وتساوي الاحتمالات بفعل توزيع العمليات والوظائف الاحتمالية ، ان هذه المفاهيم ، ان لم تجمع وتوحد ، في الأفكار ، كما هي

الآن ، فقد كانت تعيش بقوة ، ناشئة عن مسائل تطرحها الفيزياء ، والعالم الملموس ؛ ولكنها تفتقر فقط أحياناً إلى الأشخاص .

وبخلال الحقبة الغنية والخصبة الحديثة ، أظهرت نظرية الاحتمالات قوتها المسيطرة ، والتفسيرية والتطبيقية . ولكن ، منذ بداية القرن العشرين ، دلت النظرة الشاملة الى ما قد تحقق ، مع كل الارتباطات ، وكل المسائل التي يقدمها العلم الحديث ، دلت على المركز المحوري ، وعلى الصفة الشاملة لنظرية الاحتمالات . وابتداءً من هذه اللحظة ، قلما يوجد مجال ، في مجمل البحث العلمي الواسع ، لا تظهر فيه ، امام « اجتياح الاحتمال » خطر تجاهل هذا الفكر الجديد .

القسم الثاني

الميكانيك وعلم الفلك

رغم ارتباطهما بالعلوم الفيزيائية ، سواء بالغاية ام بالمظهرين النظري والعملي ، يبقى الميكانيك والفلك ، في فجر القرن التاسع عشر ، العلمين الوحيدين القابلين لتطبيق مباشر للتقنيات الرياضية .

ان الوضع المتقدم ، في مجال الميكانيك التحليلي ، والميكانيك السماوي ، قد أتاح فعلاً للرياضيين في القرن الثامن عشر ان يجدوا فيها مجالاً عميقاً يتيح الثبت من قوة ومن فعالية مختلف طرق الحساب الموضوعية بصورة متتالية . ومن جراء هذا وبناءً على سوء تقدير في المظهرين الفيزيائي او التجريبي ، اعتبر اغلب العلماء في مطلع القرن التاسع عشر هذين العلمين كمجرد فرعين للرياضيات التطبيقية .

ان التوسع التدريجي في طرق الفيزياء الرياضية لتشمل مختلف العلوم الفيزيائية ، وكذلك التقييم الأصوب للأهمية الحقيقية للميكانيك التجريبي ولعلم الفلك الرصدي ، وكذلك النشأة والنهضة السريعة لعلم الفلك الفيزيائي (استروفيزياء) في النصف الثاني من القرن ، كل ذلك أدى الى اعادة النظر في هذه النقطة المختصرة والموجزة .

وعلى كل ، وحتى نهاية القرن التاسع عشر احتفظ الميكانيك وعلم الفلك ، ضمن تصنيف العلوم ، بهذا المركز المميز ، على حدود الرياضيات والعلوم الفيزيائية ، هذا المركز الذي كان لهما منذ العصور القديمة اليونانية . ولهذا بدا لنا مبرراً تاريخياً اتباع هذا النهج القديم ، وبالتالي ، المحافظة ، في هذا المجلد المخصص لعلم القرن التاسع عشر ، على تمييز ، شكلي على الأقل ، بين هذين المجالين العلميين والعلوم الفيزيائية الأخرى .

الفصل الأول

ذروة الميكانيك الكلاسيكي والشكوك حوله

كتب بيار دوهم Pierre Duhem يقول :

«في منتصف القرن التاسع عشر بدا الميكانيك العقلاي مرتكزاً على أسس ثابتة ثبوت الأسس التي ركز عليها اقليدس Eucide الجيومتريا . لقد اطمأن الميكانيك الى مبادئه ، فأفسح في المجال الى انسياب التطور المنسجم في نتائجه . ان التزايد السريع المستمر ، والصاحب لعلوم الفيزياء ، جاء يعكر صفو هذا السلام ويخرب هذه الطمأنينة . . . » (تطور الميكانيك ، 1903) ان هذا الحكم الواضح البيان ، لا يعبر في ايجازه الأنيق عن تعقيدات الاشياء ، ولكنه يبرز الجوهر من منه . ان الميكانيك الكلاسيكي ، ما إن سار ، مع لاغرانج ، في طريق منهجي يستدعي بذاته تطورات خاصة بالتحليل الرياضي ، حتى لقي صعوبات منطقية . في حين ان تنظيمه العقلاي قد تكامل ونحس ، وبخاصة بفضل الانتباه المدخل على نظام ارجاع الحركات ، وفي حين ان مكاسبه قد تضاعفت ، فقد رأى (أي الميكانيك الكلاسيكي) عند ابرع صانعيه ظهور مناقشات حول المبادئ التي جاءت المسائل المطروحة بفضل تطور الفيزياء ، لتعطيلها نكهة جديدة في النصف الثاني من القرن التاسع عشر . واحتفظت هذه المناقشات بقيمة فعلية حاضرة ، ولكنها لم تعبر عن ظهور « نظرية النسبية » التي تحمل طابع اللامتوقع والتي تشكل بالنسبة الى العلم السائر درساً مهماً جداً .

II - تطور الميكانيك التحليلي

مبدأ الميكانيك التحليلي : لقد ثبتت عبقرية لاغرانج Lagrange في الوضوح الذي اقترن بتصوره للطبيعة الرياضية في ترجمة معادلة نظام القوى ونظام كميات التسارع بفضل مبدأ العمليات الافتراضية . واذا كان تصوير وموقع مطلق نظام مادي معين ، يمكن ان يتحددا في لحظة معينة بفضل عدد متناه من المقاييس (المسافات والزوايا) ويفضل المعايير المستقلة بعد الأخذ بالعلاقات والروابط المفروضة على النظام ، فإن معادلة الأعمال الافتراضية التي تعبر عن المعادلة السابقة عند كل تغير متناه الصغر وكيفي في المعايير ، تترجم بالمعادلة مع الصفر لشكل خطي ومتجانس لتفاضليات

المعايير . معادلة يجب التثبت منها مهما كانت قيم هذه التفاضليات . من هنا الضرورة بالنسبة الى الخط المستقيم والمتحانين المبحث به ، ضرورة ان تكون كل مثقلاته معدومة . من ذلك ان معادلة الأعمال التصورية الافتراضية ، تنقسم الى عدد مساوٍ من المعادلات ، لعدد المعايير المستقلة ، المعايير التي تعبر عن انعدامية المتقلات والتي هي ، بالنسبة الى المعايير ، معادلات تفاضلية من الدرجة الثانية .

والواقع ان كتاب لاغرانج « الميكانيك التحليلي » يجب على التصريح الوارد في « تحديده » ، وكان هذا الميكانيك فرعاً من « التحليل الرياضي » أما منهجه « فلم يتطلب لا ابنة ولا تحليلات هندسية أو ميكانيكية ، بل فقط عمليات جبرية حاضعة لمسار منتظم وموحد النسق » مع بقاءه فتحاً أكيداً يمارس على الخلفاء جذباً قاطعاً .

تعميم لابلاس : عاد لابلاس Laplace في كتابه « المتوسط في الميكانيك السماوي » (كتاب 1 ، السنة 7) الى المعادلة العامة للأعمال التصورية ، في الشكل الذي قدمه لاغرانج محلاً محل التماسق قوة - تسارع ، ما يسميه « كل العلاقات الممكنة رياضياً بين القوة والسرعة » هذا التعميم يفرض نفسه بالنسبة اليه بفعل انه يوجد ، بصورة مسبقة ، عدد غير محدد من الطرق والأساليب من أجل التعبير عن القوة (باعتبارها مقياساً ديناميكياً للحركة) تبعاً للسرعة ، وبدون اقتضاء تناقضات منطقية . وأتاح التجربة التي تحليلها تميز حقيقة قانون « القوة » الملحوظة في الطبيعة ، فوق سطح الأرض ، وهذا القانون هو مجرد تنبؤية نسبية ونحطى ، الاستنتاج حين نلظ ان لابلاس قد عاد بالتالي الى مفهوم ارسطي وقد بقي اميبا لثراث دالامبير d'Alembert الذي لا تعتبر القوة في نظره مفهوماً أول ، ولكنه كرياضي ، ميز بصورة ديناميكية الحركة في مستوى السرعة ، التي تميز بذاتها قانون الساعة . ان « القوة » عند لابلاس هي تكامل مع ما عودنا الميكانيك الكلاسيكي عليه . والمعادلة العامة في ديناميك الأنظمة ، هذا الديناميك الذي توصل اليه لابلاس مع فرضية وجود علاقة ما بين القوة والسرعة ، هي باعتراف لابلاس صعوبة الحل جداً . ولكن من الممكن ان نستنتج منها قواعد عامة تشبه قواعد الميكانيك الكلاسيكي .

كتب لابلاس يقول : « ان مبدأ حفظ القوى الحية يتم ، في كل القوانين الممكنة رياضياً ، بين القوة والسرعة - شرط ان نهم بالقوة الحية في جسم ما ، حاصل ضرب كتلته بمضاعف تكامل سرعته مضروباً بالتفاضلية في وظيفة السرعة التي تعبر عن القوة » .

وعمم لابلاس ايضاً قاعدة كميات الحركة ، وقانون المساحات ، ومبدأ العمل الأقل . وهكذا صاغ ، سابقاً غيره مدة قرن ، ميكانيكاً عاماً تقدم السببية عن طريقه سماتٍ مشتركة مع وجود الفرق وهو ان الكتلة تنق ، في نظره ، ثابتة ، في حين ان كمية الحركة تتوقف عن ان تكون مناسبة مع السرعة ، في حين ان في نظر الفيزيائيين القائلين بالنسبية ، تصبح الكتلة تابعاً للسرعة عند بقاء كمية الحركة متناسبة مع هذه السرعة .

الترابط والأعمال التصورية : فورييه Fourier وغوس Gauss : - في منظور رياضي خالص أيضاً ، حسب فورييه ، في نفس الحقبة تقريباً مبدأ الأعمال التصورية (مذكورة حول السباتيك ، السنة السادسة) وذلك برد هذا المبدأ منطقياً الى مبدأ الرافعة ، وذلك بالارتكاز على استحالة التغيرات في

المسافات المتبادلة بين النقط المادية، في نظام متوازٍ. ونصه الذي يشبه في جوهره النص المستعمل في أيامنا عادة، هو التالي: « ان العمل التصوري للقوى المعينة بالنسبة الى نظام متوازن هو عدم أو سلمي، بالنسبة الى كل تنقل تصوري متجانس مع الروابط ». هذا النص يتيح تمييز العلاقات الثنائية الاطراف والعلاقات ذات الطرف الواحد، أي التي من شأنها ان تقطع. ومع هذه العلاقات الأخيرة فقط يمكن ان يكون العمل سلبياً.

في نظر غوس (1829 . Ueber ein neues Grundgesetz der Mechanik)، لم تعد المسألة مسألة النزاع حول كون مبدأ السرعات التصورية يرد كل الستاتيك الى مسألة تحليلية خالصة، بل توسيع المبدأ، مبدأ السرعات ليشمل الديناميك وما يتطلبه من معالجة خاصة، ولذلك فضل غوس النص التالي:

« ان حركة نظام من النقط المادية، المرتبطة فيما بينها بشكل ما والتي تخضع لتقلباتها لتحديدات خارجية كيفية، هذه الحركة تحصل في كل لحظة ضمن توافق الأكمل، والممكن مع الحركة الحرة، أو تحت ضغط ضعيف ما امكن، في حين يكون قياس الضغط المسلط على النظام في كل فترة من الزمن أولية يساوي مجموع حواصل كتلة كل نقطة بعد ضربها بمربع انحرافها مع الحركة الحرة ».

ان تحصيل هذه الصيغة انطلاقاً من المبادئ التي سبق اكتسابها، هو نتيجة لحساب أبسط ما يفترض، فالعمل التصوري بالنسبة الى تنقل يتوافق مع الارتباطات انطلاقاً من الموقع عند اللحظة t ، يظهر كفارق بين المجموع الذي يحدد الضغط مع ذات المبلغ عند الموقع المجاور مجاورة قريبة جداً. ويشير غوس الى مقدار عظمة اكتشاف توافق مدهش بين الطبيعة وبين الرياضيات، بفضل مبدأ الضغط الأقل. وكما ان الجيومترين بفضل المربعات الأقل، يغيرون نتائج التجارب من جعلها متوافقة مع علاقة ضرورية بين المقادير المقاسة، كذلك حركات النظام الحرة، عندما تكون هذه الحركات غير متوافقة مع الروابط المفروضة، تتغير بشكل يصغر الى اقصى حد مجموعاً من الكميات المتناسبة مع مربعات الانحرافات. ولا يمكن التعجب من صانع النتائج الباهرة المتعلقة بطريقة المربعات الأقل، وذلك عندما عرف كيف يعطي هذا الوجه لبحوثه في الميكانيك، ولكن هذا لا يزيل شيئاً من الأناقة الرياضية لاكتشافه.

الصياغة: بواسون، Poisson، هاملتون Hamilton، جاكوبي Jacobi: ان الفن الجمالي ذاته، موجود في أعمال بواسون، Poisson، وذلك عقب مذكرتين وضعهما لاغرانج، في سنة 1809، سنداً لمقتضيات نظرية الاضطرابات في الميكانيك السماوي. لقد بسط بواسون كتابة معادلات لاغرانج عندما أدخل مجموع نصف القوة الحية ووظيفة القوى، وعندما بين، حول المعادلات البسيطة جداً، والحاصلة، ان الثوابت العشوائية التي تدخل في متكاملتين أوليين، ان هذه الثوابت تمتلك خاصية ملحوظة. ان هذه الثوابت، المعبر عنها تبعاً للمتغيرات، ترضي علاقة بين مشتقات جزئية، علاقة بسيطة بشكل خاص تسمى « هلال بواسون ». وبعلها عممت النتيجة لتشمل حالة نظام خاضع لقوى تشويش. وكان مداها العمل محدوداً، ولكن البحوث الرياضية حول تحول معادلات لاغرانج والتي استلهمها هذا الأخير، لن تكون ضائعة.

وبذات الوقت مع اعمال حول البصريات مع محاولة اضعاف نفس القوة و الجمالية والنفاذ والانسجام الموجودة في الميكانيك ، قام و . ر . هاملتن (الفلسفة ، تحول الملك ، المجتمع ، 1834 - 1835) بالعودة الى النتائج التي توصل اليها لاغرانج ولاپلاس وبواسون واثبت تبسيطات الشكل الذي ادخله على المعادلات ادخال وظيفة مسماة رئيسية ، تشمل على الوظيفة التي وضعها بواسون . وعن طريق تغيرات المتغيرات الخاصة ، الشبيهة بالتغيرات التي نظر فيها سابقوه ، توصل هاملتن الى الشكل المسمى بالشكل القانوني للمعادلات العامة في الديناميك ، وهو شكل مبسط جداً ، ومن الترتيب الاول من وجهة النظر التفاضلية : $\frac{d\omega_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \eta_i}$ ، $\frac{d\eta_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial \omega_i}$ وفيها $\omega_i = \frac{\partial T}{\partial \eta_i}$ حيث η_i تدل على الاحداثيات الأخيرة بالمعنى الذي قصده لاغرانج ، وحيث T نصف - القوة الحية و H الوظيفة $(T-U)$ (و U تابعة للقوى) .

ان تكامل هذه المعادلات القانونية يتعلق بالوظيفة الاساسية التي يتوجب تحديدها في النهاية وهكذا تردت المسألة العامة في الديناميك الى البحث عن وظيفة وحيدة ترضي بأن واحد معادلتين لها مشتقات جزئية . ولكن للأسف لا يمكن رد هذه الصعوبة القصوى الى القاعدة العامة الا عن طريق التقريب المتتالي . ويبقى ، مع هاملتون ان تبلغ الصيغة الرياضية ، في مجال الميكانيك الكلاسيكي ، وبالتعامل مع مبدأ دالامبير ، اتساعاً قوياً سوف يعرف الفيزيائيون القائلون بالنسبية كيف يستعملونه .

وقدم جاكوب Jacobi في كتابه (Vorlesungen über Dynamik ، 1842 - 1843) لنظرية هاملتون بعض التعديلات بقصد جعل التنبئات اكثر دقة ويقصد استبعاد الاعتبارات الزائدة . كتب المعادلات القانونية بشكل اعم دون افتراض وجود وظيفة قوى ، وأنهى بذلك وضع الاداة الحاسمة في الميكانيك التحليلي .

وأخيراً اعطى لمبدأ العمل الأقل ، الذي استخرجه لاغرانج ثم هاملتون بشكل خاص في كل ميثافيزيك حول الاقتصاد الأعلى في الطبيعة - شكلاً أقرب الى الجيومتريا ، لا يستخدم السرعات والمسارات التي تتخذها النقاط المتحركة والتي تتوافق مع ذات الثالث في القوى الحية ، أو كما يقال التي تتوافق مع نفس الطاقة الشاملة ، ان هذه المسارات تحقق خاصية توقفية (أو تطرفية ، أي قصوى او ادنوية) لتكامل يتناول وظيفة الاحداثيات . ويلعب هذا الشكل الجديد لمبدأ العمل الأقل دوراً في عدة نظريات فيزيائية وسوف يكون موضوع بحوث أخرى ، في النصف الثاني من القرن مع ليفويل Liouville (1856) ، ومع ليشيتز Lipschitz (1871) ومع و . تومسون وتيت Tait (1879) ومع ليفي سيفيتا Levi - Civita (1896) .

II - ميكانيك الأماكن المستمرة

المعطيات السابقة : أولر Euler ولاغرانج Lagrange : بعد نصف القرن الثامن عشر ، لاحظ الرياضيون ضرورة معالجة خاصة لميكانيك الأماكن المستمرة وكان عدد معايير الموقع يتوقف بالنسبة الى مثل هذه الأنظمة المادية ، دون تحديد . وبين أولر (مبادئ عامة في حركة السوائل : مذكرة الى اكااديمية برلين ، 1755) ثم لاغرانج في كتابه الميكانيك التحليلي ، كيف يمكن تلافي الصعوبة باعتبار

المتغيرات - هذه المتغيرات التي تحمل اليوم اسماءها - وهي تابعة بأن واحد للزمن ولاحداثيات الموقع . وتشكل متغيرات أولر مكونات السرعة في العنصر المادي في الاحداثيات x, y, z وهي تابعة للزمن وهذه الاحداثيات . أما متغيرات لاغرانج فهي الاحداثيات في اللحظة t من العنصر المادي وهي تابعة للزمن وللاحداثيات الأساسية في ذات العنصر . ان المعادلات العامة في الهيدروديناميك الحاصلة في المنظور الأول والثاني ، وبعد ادخال فكرة الضغط عند نقطة من الكتلة السائلة ، هي معادلات ذات مشتقات حرة . ومن هنا تفهم ملاحظة أولر : « إذا لم يميز لنا ان نتوصل الى معرفة كاملة لحركة الموائع ، فليس الميكانيك ولا قصور المبادئ المعروفة عن الحركة هو السبب ، بل التحليل الذي يتركنا هنا بالذات ».

الواقع ان أولر ولاغرانج لم يحصلوا على نتائج رياضية مرضية ، وباهرة ، الا في حالة خاصة حيث يوجد كمون للسرعات ، وهذا ما يعبر عنه بكلمة قوية ، الحركة اللادورانية .

ان وجود الزواج قد منع لاغرانج ، رغماً عنه على ما يبدو من النظر ان هذه الحالة الخاصة يمكن ان تكون عامة ، وأن الطبيعة تريد ان تنحني أمام 'قوانين' الأكثر بساطة .

الاستعدادات الضرورية : كوشي Cauchy ونافيه Navier : ولكن ديناميك السوائل ليس وحده كل ميكانيك الأماكن المتماثلة المستمرة انه فقط المكسب الأكثر بروزاً في القرن الثامن عشر ، داخل تطور مستقل لظواهر التمدد وان التصور لمجمل ميكانيك الأمكنة المتماثلة هو بالضغط من صنع القرن التاسع عشر . والى كوشي يعود الفضل ، ضمن بحوث امتدت طيلة عشرين سنة تقريباً ، ابتداء من 1822 ، في وضع لغة مشتركة بين ميكانيك السوائل والتمدد ، وذلك بفضل الدراسة الرياضية الدقيقة لنشوء وسط مستمر . لقد اكتفي حتى ذلك الحين بالثبوت من التمددات الطولية الايجابية أو السلبية (المسماة تكثفاً) وقد درس كوشي الدوران الذي يصيب مقطع صغير من خط مستقيم بعد نشوء . وعبر بذلك تماماً عن الطبيعة الجيومترية للنشوء اللامتناهي 'الصغير' الذي يصيب الوسط بواسطة مشتقات من وظائف احداثيات أساسية في عنصر مادي تمثل : الاحداثيات النهائية لذات العنصر ، والتي لا تختلف بالتالي عن متغيرات لاغرانج Lagrange في لحظة معينة ، وانتقل كوشي من النشوءات أو التحريفات اللامتناهي 'الصغير' الى التحريفات المتناهية ، وأثبت وجود « دوران متوسط » متميز

وفي حين اخذت تشكل الاداة الرياضية الضرورية ، قام نافيه Navier في كتابه (قوانين التوازن ، وحركة الأجسام الجامدة المطاطة ، 1821) بتجربة حل عام ضمن منظور سوف نعود اليه : انه منظور التركيب الجزئي للمادة ، باعتبار ان الجزئيات يجب ان تتعالج حرة الا بعد اخضاعها لتحددها المتبادل . ان المعادلات العامة للتوازن المطاطي ، هذه المعادلات التي قدمها نافيه Navier معيوبة بشائنة مزدوجة . من جهة انها لا تظهر وظائف متغيرات لاغرانج Lagrange ، هذه الوظائف التي تميز التحريف ، ومن جهة أخرى لا معنى لهذه الوظائف الا ضمن تحليل القرى في الفرضية الجزئية . وان اعتبرت معلماً في تاريخ الميكانيك العام ، فذلك بعد الأعمال الجزئية التي تمت في أواخر القرن السابع عشر والثامن عشر ، على اساس اختباري ، حول التحريفات الخطية والمسطحة أو حول

مسائل التمدد والمطاطية في بُعدٍ واحدٍ أو بعدين ، ولأول مرة طرحت المسألة العامة ، مسألة المجالات المطاطية ذات الأبعاد الثلاثة .

النظرية العامة في التمدد او المطاطية : انه الى لامي Lamé (دروس في النظرية الرياضية حول تمدد الأجسام الصلبة ، 1852) يعود الفضل - بعد اعمال كوشي Cauchy - في وضع منهج عقلائي بشكل مكسباً جديداً في الميكانيك التحليلي .

كتب لامي يقول : « من الأفضل معالجة المسائل المتعلقة بالميكانيك ، بترك تحديد التأثير المتبادل بين مختلف انواع المواد ، اي دون محاولة تدخيل تمهاذبات وتدفاعات تتبع بعض القوانين الاحتمالية تدخيلاً مباشراً . وإذا امكن بالتالي طرح المسائل بشكل معادلات ، فان طبيعة التأثير الحاصلة ، والقرى التي تعبر عنها وقوانينها الصحيحة تستنتج باعتبارها نتائج . وهكذا تتم اعادة رسم مسار علم الفلك الطري ، الذي لم تدُ فيه الجاذبية الكونية ، الا كنتيجة محتومة لقوانين الحركة ، بدلاً من ان تتخذ كقطة انطلاق » .

كان لامي Lamé اميناً لهذا البرنامج ، وقد توصل فعلاً الى ان يكتب المعادلات العامة للتمدّد بواسطة عناصر مميزة في التحريف ، عناصر دل عليها كوشي Cauchy ، وبواسطة توترات داخلية لا يتطلب وجودها وتعريفها اتخاذ أي موقف مسبق من تكون المادة .

وبدت النتائج الحاصلة على هذا الشكل ، من جراء هذا الواقع ، غير كافية لتوضيح ظاهرات تعني مباشرة بالبنية الداخلية للمادة ، ولكنها ، أي النتائج ، قدمت خدمات كبرى للفيزيائيين ، وما تزال نموذجاً لمنهج رياضي خصب وذلك بمقدار ما تعرف حدود هذا المنهج

ومن بين هذه النتائج ، يتوجب الإشارة الى النتيجة التي ظلت كلاسيكية تحت اسم قطع لامي (قطع اهليلجي) وذلك في الحالة الخاصة ، حالة مسائل التمدد المسطح ، أي حيث تكون التوترات في كل نقطة أو واقعة فوق نفس السطح . ويكون مسار طرف الشعاع الموج للتعثر في كل نقطة قطعاً اهليلجياً ، ويكفي إذا معرفة التوترات الرئيسية المتوافقة مع الاتجاهين العموديين لمحاور الاهليلج حتى تتسنى معرفة كل التوترات الأخرى . وفي حوالي آخر القرن التاسع عشر اتاح استغلال الاكتشاف الذي توصل اليه بروستر Brewster ، سنة 1810 ، والمتعلق بالانكسار المزدوج في مجسم متسق ومنسجم ، خاضع لتحريفات ، اتاح التوصل الى طريقة تجريبية لرسم خطوط المزدوج في مجسم متسق ومنسجم ، خاضع لتحريفات ، اتاح التوصل الى طريقة تجريبية لرسم خطوط التوتر الرئيسية فوق نماذج شفافة . ورغم ان استبدال هذه النماذج وجعلها في أجسام حقيقية لم يخلُ من صعوبات أخرى ومن العديد من الشكوك حول قيمة التصدير التمددي القياسي (Photoélasticité-rie) ، فان شبكة الخطوط العمودية للتوترات الرئيسية ، والمجمولة ، ان امكن القول ، مرئية بفضل الطريقة البصرية ، هي دليل على أهمية الدراسات الرياضية الخالصة حول التوازن التمددي

الهيدروديناميك : في مجال الهيدروديناميك اتاحت حركية التحريفات المرتكزة على أعمال كوشي تركيز الاهتمام على العناصر التي بقيت حتى ذلك الحين حجر المحك للنظرية ، وهذه العناصر هي

الزواجع والدوامات . ولكن عند انتظار تطبيق نظرية وظائف المتغيرات التصورية ، التي اتاحت في مطلع القرن العشرين الاقتراب من ميكانيك عقلائي حقيقي مطبق على الموائع ، وكذلك التعرف على الصعوبات الرياضية في دمج المعادلات ذات الاشتقاقات الجزئية التي تستمر في تحطيم التقدمات النظرية . ان القواعد التي يعود الفضل فيها الى هلمولتز (Helmholtz ، 1858 in Journal de Crelle) حول الحركات الاعصارية ، والتي تشكل التقدم الاعظم الحاصل في مجال الهيدروديناميك منذ اولر ولاغرانج وكوشي لا تطبق الا على الموائع الكاملة ذات العلاقة بين نقلها النوعي والضغط ، والتي تخضع لقوات احتفاظية أي منبثقة عن دالة قوى موحدة .

ان الشروط التي تصيب الحدود ، أي مثلاً ، حالة للمائع الملاصق لحاجز متين ، أو ملاصق لمائع آخر ، وهي شروط ضرورية لتعريف مسألة الدمج ، ان هذه الشروط كانت ، بصورة متزايدة ، ولسبب وجيه موضوع تأملات تجريبية أكثر مما كانت موضوع تحليل عقلائي .

إنها نوافير السوائل خلال أو عبر المواسير (على امتداد اعمال القرن الثامن عشر وبصورة خاصة اعمال دانيال برنولي (Daniel Bernoulli) بشأن ظاهرات الشعرية والزوجة ، هي التي برزت فيها محالات الحل النظري بشكل ملحوظ ، ومن هذه الجهة ، تجب الإشارة ، في بداية القرن الى نظرية لابلاس في الشعريرات ، وفي المنتصف الثاني من القرن ظهرت دراسة لبولتزمن Boltzmann تبين كيف ان المعادلات الأساسية في النظرية الشعرية يمكن ان تستخرج من مبدأ السرعات الاحتمالية (Poggen-dorf Annalen ، 1870) . والواقع ان الدراسات المهمة حقاً بالنسبة الى تطور ميكانيك الموائع تنتمي الى العلم التجريبي . وعلى كل ترتبط بحوث جان ليون بواسي Jean - Léon Poiseuille حول الاحتكاك الداخلي في السوائل وفي الغازات (1846 - 1847) بالمحاولة النظرية التي قام بها نافيه Navier لكي يوضح - من خلال الشروط القصوى (او القريبة من القصوى) ، والمقتربة جداً من الحقيقة الفيزيائية - ، الاستثناءات الملحوظة في عملية السيولة ضمن انابيب ذات اتساعات متنوعة عند الانتقال من مقاييس كبيرة الى مقاييس صغيرة . وهي أي دراسات تركز على فرضية السيلائن المنتظم ، المسماة «صفحية» ، وفيه تظل شبكات الموائع موازية لمحور القسطل أو الأنبوب .

إنها التجربة هي التي كشفت سنة 1883 على يد أوزبورن رينولد Osborne Reynolds ضرورة النظر في الغزولات ، حتى في الحالة المبسطة ظاهرياً ، حالة السيلائن ضمن انبوب مستقيم ، وهذه التجربة هي التي عملت على ترك الأمل في التفسير بواسطة الاحتكاك فقط (الاحتكاك الذي لم يظهر تحليله النظري أي تقدم بخلاف القرن) تفسير الصعوبات المعترسة . ان اعمال لورد ريلي Lord Rayleigh ، ورينولد Reynolds ، ول . برانتل L . Prandtl ، عن طريق دمج التجربة والنظرية بالنسبة للسيولات المضطربة غير المنتظمة ، قد اتاحت ، في أواخر القرن التاسع عشر وفي بداية القرن العشرين قيام ميكانيك ، سوف يجتد سريعاً ، في بناء السفن والطائرات ، مجالاً تطبيقياً ممتازاً .

انتشار الحركات : اذا وجد الميكانيك الكلاسيكي وطريقته في التحليل الرياضي حدوداً ، وإذا اضطرا إلى التماشي مع العلوم الفيزيائية بشكل محسوس خصوصاً فيما يتعلق بحركات الموائع ، فقد اكتسب أيضاً مكاسب كبيرة في مجال يعود هو أيضاً إلى ميكانيك الأوساط المستمرة ، مجال انتشار

الحركات . وعلى أثر الأعمال التي قام بها لابلاس ، وبواسون وكوشي وريمان وبونسيبي وي . فيليب E. Philipps وباري دي سان فينان Barré de Saint Venant الخ . برز عمل رائع في هذا الموضوع ، في حوالي اواخر القرن ، هو عمل هوغونيوت Hugoniot (Mémoire sur la propagation du mouvement dans les corps , 1887) . وانطلاقاً من الحالة البسيطة ، حالة القضيب المطاطي المنسجم الذي تحكم حركته بالمعادلة الكلاسيكية التي سبق ان نظر فيها أولر ، معادلة ذات اشتقاقات جزئية من الدرجة الثانية ، بين هوغونيوت Hugoniot كيف تتولد المتكاملات المتنوعة على التوالي في كل نقطة وتنتشر بنفس السرعة عندما يلاقي المتكامل الأول المستوي شروط الحركة ، الشروط المفروضة على طرفيه ، تناقضاً صاداً أثناء انتشاره .

وعندما يلتقي متكاملان في نقطة دون محدودية تمديدية ، ودون اشتقاقات فإنها يوصفان بالتوافق ويستمران معاً ، ان سرعة نقطة التلاقي تسمى سرعة انتشار المتكامل في آخر . وهذه السرعة هي حلٌ للمعادلة المؤلفة من مميزات المعادلة ذات الاشتقاقات الجزئية من الحركة .

ويتيح تحليل هوغونيوت بالتالي تحديد - بشكل دقيق - كل الحركات التي من شأنها الانتشار فوق سطح مطاطي ، في حركة خاصة دون ادخال تقطعات . وكما صرح بذلك هوغونيوت بنفسه : ان متكامل المعادلة ذات الاشتقاقات الجزئية في الحركة ، ليس قريب الحل ، رغم كل شيء . ولكن يمكن العثور على حلول خاصة له ، وهناك خطوة جديدة قد تم اجتيازها في دراسة الظواهر الطبيعية . وقد طبق هوغونيوت نفس المبادئ على الغازات الكاملة ، وذلك بعد التغيير المناسب لتعريف سرعة انتشار متكامل ضمن متكامل آخر ، واهتم بالتالي ، بالنسبة الى الأوساط المطاطية من كل نوع بالتقطعات أو بالتضادات التي ، عند ملتقى متكاملين ، تولد رياضياً متكاملاً جديداً .

هل الأمر يتعلق هنا بخدعة تحليلية ، تُرَد الى الأسلوب او الكيفية التي تعالج بها المشكلة ، او ان الأمر يتعلق بواقع فيزيائي ؟ . بالنسبة الى هوغونيوت ، من المستحيل الاجابة على مثل هذه المسألة . ان تكون المتقطعات ذات وجود فعلي أو لا ، يتوجب على العالم الرياضي ان يتفحص تأثيرها في ظواهر انتشار الحركة .

وفي النهاية ، وانطلاقاً من حركة معينة ، هي متكامل خاص ، اتاح تحليل هوغونيوت درس الحوادث التي قد تعترض هذه الحركة ، مكرراً تفاعلية انتشارية أو تفاعلية ولادة حركة جديدة . ان الاداة الشكلية الموضوعة هنا في تصرف الفيزيائيين ، هي مع سلسلات فورييه ، بالنسبة الى تحليل الحركات الارتجاجية ، ذات أهمية قصوى .

III - الحركة النسبية ، وفكرة نظام الارتداد

وجود ثغرة : ان نسبية الحركة ، أي الواقعة القائلة بأن الحركة لا يمكن أن تعرف تعريفاً دقيقاً إلا اذا ردت الى مرجع محدد تماماً ، هذه النسبية كانت فكرة مألوفة عند علماء القرن السابع عشر . وقد استطاع هويجنس Huygens بشكل خاص ان يستمد من تغير نظام الرجوع او الارتداد طريقة متميزة لقياس وليضع قوانين الصدمة . ولكن أنصار الميكانيك الكلاسيكي في القرن الثامن عشر ، وكذلك

مؤسس الميكانيك التحليلي في أواخر القرن الثامن عشر وفي مطلع القرن التاسع عشر ، قد اهتموا في تطوير كل النتائج الرياضية المنبثقة عن المبادئ المطروحة من اجل التحليل الديناميكي للحركة ، اكثر من اهتمامهم في وضع فكرة حول الانعكاس الذي يمكن أن يكون ضمن هذا التحليل للانتباه المركز على مرتكز الحركة .

وحده كليرو Clairaut اقترح ، في سنة (1742) البحث ، عما يحصل « لنظام ما من الأجسام المتحركة بفعل الجاذبية أو غيرها من القوى الدافعة ، عندما يُحمل هذا النظام ، المربوط في أحد جوانبه ، فوق سطح ، يُحمل مع هذا السطح في حركة مقوسة ومنغرية اراديا» . وقد انتهى إلى مبدأ غير كامل (استمرارية التحليل الديناميكي المعتاد ، شرط ان يضاف الى القوى المعنية قوى « جامدة الاسياق ») ، من شأنها ، اذا طبقت فقط في حالات عفوية مناسبة ، ان ادت إلى نتائج صحيحة .

كوربوليس Coriolis وتغير نقطة الرجوع أو الارتكاز : انه في النصف الأول من القرن التاسع عشر قد تم سد الثغرة الضخمة التي أشرنا إليها في القانون الأساسي لعلم الميكانيك ، وهي غياب الانتباه إلى نظام الارتكاز ، وذلك بفضل أعمال كوربوليس (Journal de L'école Polytechnique 1832, 1835) ، وبدا أنه من غير المعقول أن تكون مذكرة كليرو قد فاتت كوربوليس ، ولكن هذا لم يذكر أي مصدر ولكن بحوثه انطلقت من نظرية المعجلات المائية ، الذي سبق ان عولجت بعد ج . برنولي Bernoulli واولر Euler وبوردوا Borda ، من قبل نافيه Navier وامبير Ampère . « العثور على حركة آلة تتحرك بعض اجزائها بحركة معينة » تلك هي المسألة العملية التي عمل كوربوليس ، في بادئ الأمر على حلها والتي قادته بالرغم عنه تقريباً إلى دراسة مقارنة التسارع الذي يصل اليه ، بصورة نسبية نظامان مرجحان متحركان الواحد منهما بالنسبة إلى الآخر . ان اسم كوربوليس بقي مرتبطاً بهذا القانون ، قانون التركيب الذي يطلق من الحركية الخالصة ، وهذا ارتباط محق إذ إلى كوربوليس يعود الفضل في إيجاد كل ما هو ضروري لصياغة هذا القانون . ولكن هدفه لم يكن هذا القانون لأنه كان يجلل كديناميكي ، بالنسبة إلى القوى التي يجب ادخالها واعمالها في نظرية بعض الآلات ، ومع ذلك يبقى اكتشافه اكتشافاً بارزاً .

ان هذا القانون يعبر عن نفسه بتعابير تستخدم بصورة مباشرة بالنسبة إلى التتمعات الواجب اعطاؤها للقانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي عندما يتم التعرف فسيما بعد إلى ان هذا القانون يفترض أنظمة رجوع متميزة . ان دراسة الحركة المتعلقة بنظام جسم أو آلة ما بالنسبة إلى مرتكز له بذاته حركة معروفة سالبة إلى الأرض ، تتم - كما بين كوربوليس - بتطبيق ذات القانون ، قانون التماسك بين الحركة والقوى ، إنما بعد إضافة ، إلى القوى العاملة في النظام ، نوعين من القوى المجموعية التي يتم بعضها بعضاً ، القوى الطاردة الاستلحاقية (التي سوف تكون قوى جود النظام اذا كان مثبتاً بنقطة ارتكاز متحركة) ، « والقوى الطاردة المؤلفة أو المركبة » التي تنتج بأن واحد من الحركة النسبية ومن حركة المرتكز ، وهي تشكل الاكتشاف الجوهري عند كوربوليس .

احداث تجريبية جديدة : ريخ Reich وفوكولت Foucault : نتج عن هذا الاكتشاف ان الميكانيك الأرضي أي علم الحركات المرتكزة على الأرض ، يوشك ان يعاد النظر به بالاستناد إلى القوى

الطائرة المركبة الناتجة عن حركة الأرض .

عاد ف . ريخ الى مسألة قديمة تتعلق بالميكانيك الأرسطي الذي أتاح رفضه تقدم الميكانيك في أواخر القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر ، وبين ، في سنة 1833 ، وهو يعمل على القذائف الساقطة سقوطاً حراً ، داخل بئر منجم عمقه 158 م في فريبيرغ (ساكس) انه يوجد انحراف متوسط من نقطة السقوط نحو الشرق مقداره 28 مم (انحراف بالنسبة الى مركز الأرض) . هذا الخروج عن القاعدة الحتمية يوحي بأن الأرض ليست مركزة عموماً بالمعنى الذي حدد فيه التعبير في ما بعد بشكل دقيق ، أي مركزة بالنسبة اليه ينطبق القانون الأساسي للديناميك الكلاسيكي ، بشكل دقيق .

ودون ان يطلع الفيزيائي ليون فوكولت Léon Foucault (1819 - 1868) على اعمال كوربوليس Coriolis ، ودون ان يفهم بوضوح القواعد المطبقة في هذا المجال ، فقد قدم ، في سنة 1851 نتيجة تجارب شهيرة في مذكرة عنوانها « التين الفيزيائي لحركة دوران الأرض بواسطة رقائق » وبدأ الهام هذا المحرج البارز كما يلي : « إذا كان مجال التاراجح لرقاقص ما ثابتاً في الفضاء الذي تتحرك فيه الأرض (وهي مركزة محيز) فان دوران الأرض على نفسها يجب ان يحسب بفضل دوران ذات مجال الأرجحة بالنسبة الى الأرض .

وإذا اعطت التجربة الأخيرة ، التي جرت في باريس ، في البانتيون Panthéon ، في بداية 1851 ، بواسطة رقائق وزنه 28 كلغ ، معلق بخيط من فولاذ طوله 67 م ، النتائج المشهورة المتوقعة ، فذلك بفضل شروط التجريب التي قللت من أسباب تمويث الأرجحات البطيئة وأتاحت تطويل الرصد للإفادة ، كما اشار بذلك فوكولت ، من تراكم « المفاعيل » .

ولا يمكن اذاً التقليل من أهمية نجاح تجربة رقائق فوكولت وكم هي مدينة للحس المزهرف في التجريب عند القائم بها ، اكثر مما هي مدينة لنوع من الرؤية النظرية الواضحة للمسألة . ولم يتم الأمر الا بعد فترة ، وبفضل الأعمال التي أثارها اكتشاف الحدث او الواقعة ، حيث اعطى الميكانيكيون لفكرة نظام الرجوع المميز كل الانتباه الضروري وبالتالي أدخلوا تجربة فوكولت ضمن بناء عقلائي ومنطقي راسخ للأرضاء .

الجيروسكوب : ومع ذلك لا يمكن اغفال فكر التحسين الذي ادخله فوكولت على معداته التجريبية التي من شأنها اثبات دوران الأرض . ان رقائقاً مثل الرقائق المستعمل في البانتيون Panthéon هي آلة معقدة تقتضي استعمال تجهيزات كثيرة . وعقريه فوكولت Foucault في الفيزياء برزت ايضاً في اختراع « آلة صغيرة ذات أحجام صغيرة ، يسهل نقلها » ، وتعطي نفس النتيجة التي يعطيها الرقائق . ان الأمر يتعلق بالجيروسكوب ، وهو جهاز له تطبيقات كثيرة ويستحق وصفاً خاصاً لأنه يرمز بوجوده بالذات ، في منتصف القرن التاسع عشر ، الى خصب الاتحاد بين العلم النظري والتقنية العملية .

ان الدراسة النظرية لدوران الأجسام ، وهي من مكتسبات القرن الثامن عشر ، من خلال

اعمال أولر ، ودالامبير ولاغرانج ، قد أُنحت الثابت وجود محاور مميزة تسمى محاور الدوران الدائم . في سنة 1834 ، انتهى بوانسو Poinso الحل النظري ووضع تمثيلاً جيومترياً شديد الأناسة بواسطة دحرجة مجسم اهليلجي حامد للجسم فوق سطح ثابت . ويدل هذا الحل ، الذي احتفظ باسم « الحركة على طريقة بوانسو » ، دلالة مباشرة على أن كل مجسم معلق من نقطة ارتكازه ، وبالتالي في حالة توازن دائم ، يجب أن يحتفظ بالدوران المعطى له ، إذا حصل هذا الدوران حول محور من المحاور المميزة المشار إليها سابقاً . وفي سنة (1852) ابتكر فوكولت Foucault جهازاً يتيح الاستفادة من هذه النتيجة ، ويعتبر جيروسكوبه قالباً من البرونز ، مركباً داخل دائرة معدنية بحيث يكون مركز ثقله النوعي ثابتاً ، ويكون محوره محور دوران دائم . وبحسب النظرية يجب أن يبقى هذا المحور ثابتاً والدوران دائماً ، عندما يكون القالب في حركة دوران حول المحور . ولكن - وكما هو الحال بالنسبة الى سطح تارجح الرقاص - يتوجب معرفة نقطة الاستناد أو الرجوع . فإذا كان محور الرجوع بالنسبة الى الفضاء المجاور ، لا بالنسبة الى الأرض ، وإذا دارت الأرض بالنسبة الى الفضاء ، فإن محور الجيروسكوب يجب أن يبرز هذا الدوران الأخير وذلك بتقلبه بالنسبة الى الأرض ، وهذا ما يحدث تماماً

الدرس من الاكتشافات : وفي النهاية تعتبر الفكرة الطاردة المركبة التي قالها كوريوليس Coriolis ، والرقاص والجيروسكوب اللذان ذكرهما فوكولت مكاسب مهمة في ميكانيك القرن التاسع عشر . القوة الأولى أخذت كثيراً عن التحليل الرياضي أما الثاني ، فبالعكس يعود الفضل فيه إلى الحدس وإلى التجربة ، وكلاهما تميزان بتفاعل النظرية والتقنية . ولكن الكتب الكلاسيكية ، بحكم شأنها المتفرقة ، فهي تجمع بين هذه المكاسب منذ مطلع القرن العشرين ، ضمن تفسير واحد عقلاني . ولكن هذا التفسير إذا كان قد تأخر في ظهوره فذلك يعود بالضبط إلى صعوبة استخراج الدرس المشترك والأساسي من هذين المكسين . وهذا الدرس هو أن قانون الديناميك الكلاسيكي يتضمن بذاته بديهية وجود مراكز للحركة مميزة . أما الثورة النسبية فقد عملت فقط على التغلب على هذه الصعوبة .

IV - النظريات الكبرى في الفيزياء والميكانيك

من المستحيل التكلم عن الميكانيك في القرن التاسع عشر دون الإشارة بصورة خاصة إلى تأثيره على الفيزياء ، مع الاكتفاء بالطبع ، ببعض الخطوط الكبرى ، أي الخطوط التي تتوافق مع تنظيم الفيزياء ، بفضل نظريات مستوحاة مباشرة من النموذج الميكانيكي⁽¹⁾ .

الترموديناميك . - ليس من الصحيح أنه في أواخر القرن الثامن عشر كان جميع الفيزيائيين أنصار ما سمي « كالوريك » أي أنهم اعتبروا الحرارة كمائع ، منتشر في كل الطبيعة ، وإنما بحسب درجة حرارة الأجسام وخصائصها - تجبر هذه الأجسام على الاحتفاظ بها أي بالحرارة أو على توزيعها

(1) أن تفصيل التقدم الحاصل في الترموديناميك ، وفي الصريات النظرية وفي المغناطيسية وفي الكهرومغناطيسية هذا الشأن في الدراسات التي قدمها ج . آللار G. ALLARD ، ومدام م . آ . تونيلات M. A. Tonnelat ، وي بوير . Bauer ، في القسم الثالث ، قسم العلوم الفيزيائية .

ونشروها . إن فرضية الحرارة ، وهي نتيجة الحركة الجزيئية ، والمثلة بقوة حادة في هذه الحركة ، هذه الفرضية كانت معروفة من قبل لافوازييه Lavoisier ، ولابلاس Laplace اللذين لم يجدا مع ذلك أسباباً كافية لتبينها بشكل كامل . وأحدث تطور الآلة البخارية ، مع اكتشاف المفعول المزدوج من قبل جيمس وات James Watt وتجارب رومفورد Rumford حول التسخين ، الحاصل بفعل الدوران السريع مع الاحتكاك ، كل ذلك طرح مسألة التناغم بين الحرارة والعمل الميكانيكي . وبدت المفاعيل المدونة من قبل رومفورد غير متجانسة مع الطرح القائل بتغير بسيط في حرارة الأجسام الذاتية . « لا يمكنني أن أصور لنفسي تخيلاً للحرارة ، إن لم يتوجب عليّ اعتبارها كحركة » هكذا صرّح في : (تأملات فلسفية - 1798 , Philosophical Transactions) .

وبالمقابل أكملت أعمال متنوعة حول تسخين الغازات بالضغط ، وحول تبريدها بإزالة الضغط ، الأعمال التي قام بها ي . داروين E.Darwin (1788) وج . دالتون J.Dalton (1802) العناصر التجريبية التي أبرزت وجود علاقة بين العمل والحرارة . إلا أنه كان من الواجب انتظار ظهور كتاب سادي كارنوت Sadi Carnot « تأملات حول القوة المحركة للنار » (1824) من أجل العثور على أول محاولة لدراسة عقلانية لهذه المسألة .

ولكن كارنوت قد تردد بين اعتبار الحرارة كمائع مادي ، والحرارة الناتجة عن الحركات الجزيئية ، ولهذا لم يتناول جهده في العقلنة في بادئ الأمر ، المعادل الميكانيكي للحرارة وهو أمر كان لا يشبه به ، ولكنه سعى إلى اكتشاف بنية الآلات الحرارية فأنتهى بالتالي إلى ما سوف يكون المبدأ الثاني الأساسي في الترموديناميك ، في حين أن المبدأ الأول (وهو الاحتفاظ بالطاقة) لم يحصل إلا فيما بعد .

إن كل آلة حرارية تفترض - كما بين كارنوت - وجود مصدر حار ومصدر بارد ، وتشغيل هذه الآلة يؤدي إلى نقل كمية من الحرارة من المصدر الأول إلى المصدر الثاني . إن الآلة النارية تشبه إذاً طاحونة الماء .

وكما أنه يتوجب وجود مسقط ماء لتسيير المحرك الهيدروليكي ، كذلك يتوجب وجود مسقط لكمية من الحرارة لتسيير محرك حراري . إن التشابه الميكانيكي الذي أرشد بحث كارنوت ترك ، كما هو ظاهر ، طبيعة الحرارة غير موضحة ، وتفسر بشكل أسهل في فرضية المائع الكالوري . ولكن هذا التشابه أتاح للمؤلف التأكيد على مبدأ سوف يتجاوز المناقشات حول هذه النقطة رغم أهميتها . وبالنسبة إلى آلة نارية عاملة في الظروف الفضل ، وبالنسبة إلى كمية من الحرارة تقدمها المغلّية ، هناك عمل مجني مستقل عن العوامل المشغلة من أجل تحقيق هذا العمل : إن هذا العمل مثبت فقط بفضل درجات حرارة الأجسام التي بينها يتم ، في التحليل الأخير نقل الحرارة .

في سنة (1842 - 1843) أدخلت الأعمال النظرية التي قام بها روبرت ماير Robert Mayer وكولدينغ Colding فكرة التعادل بين الحرارة والعمل ، وأتاحت وضع مبدأ الاحتفاظ بالقوة الحية في مصاف قانون عام مطبق على الظواهر الحرارية . إلا أن الدفع الأخير قد تم بفضل تجارب جيمس جول James Joule سنة 1843 ، تجارب أظهرت التناسبية بين إفراز الحرارة والعمل الحاصل ، من هنا

التعريف الدقيق للمعادل الميكانيكي للحرارة . أما فكرة الطاقة ، وهي فكرة كمنت عبر كل تطورات الميكانيك الكلاسيكي ، فقد تلقت يومئذ وبفضل هلمولتز Helmholtz تطبيقاً عاماً . فالجسم يمتلك الطاقة الميكانيكية إن هو استطاع إحداث عمل ، ولكن ظاهرات الحرارة ، والكهرباء ، والتركيبات الكيميائية يمكن أن تُقَرَن بإنتاج عمل ما . وسنداً لذلك من الطبيعي ترقب - إلى جانب الطاقة الميكانيكية - وجود طاقات كالوريفية وكهربائية وكيميائية ، ومن ثم وضع المبدأ التالي : في نظام معزول ، إذا تلاشى عمل ما أو ما يوازي هذا العمل ، الممتعي إلى مختلف أشكال الطاقة ، فإن نفس العمل يجب أن يظهر بأشكال أخرى .

وفي منتصف القرن التاسع عشر قدم الميكانيك لدراسة الظاهرات الحرارية طروحات جوهرية . وبفضل التفسيرات والتأويلات وبفضل التطور الحاصل في سنة (1834) في أعمال كارنوت ، من قبل كلايرون Clapeyron ، أُنقِذت النظرات الجديدة حول مسائل الطاقة من الأخطاء التي يمكن أن يؤدي إليها المفهوم الضيق لحفظ الطاقة الكاملة في نظام معزول والتصور للتفاعلات الرياضية بين مختلف أشكال الطاقة .

وهناك مرحلة جديدة قد تم اجتيازها في سنة 1850 بفضل وليم طومسون William Thomson وكولوسوس Clausius اللذين أثبتا تدهور الطاقة . وإذا كان هناك تعادل بين 430 (كـ لـ م) وكيلو كالوري (كـ ك) فليس من التماثل في شيء النظر إلى أي من هذه الأشكال من الطاقة . إن الطاقة الميكانيكية هي دائماً مستخدمة بشكل كامل ، أما الطاقة الكالوريفية فليست كذلك . ومن أجل إعطاء الـ (1 كـ ك) معادله الميكانيكي الكامل لا بد من ابتكار سلسلة من المساقط بين مصادر الحرارة ومصادر البرودة المؤدية إلى الصفر المطلق في دراة الحرارة وهو تفاعل مستحيل .

ومن جهة أخرى ، إذا كانت الطاقة الميكانيكية تفتقر دائماً عند إعماها بصور حرارة ، فإن معادلة درجة الحرارة التي تنزع دائماً إلى التحقق ذاتياً ، ضمن نظام معزول ، تجعل الطاقة الحرارية المحررة ، أقل استعمالاً .

وإذاً فعل أساس المبدأ المصحح : ضمن نظام معزول تحفظ الطاقة ولكنها تتضاءل ، عليه بني علم الترموديناميك ، علم قريب من الميكانيك الكلاسيكي بمناهجه وبمفاهيمه وعليه جعلت أعمال بلانك Plank ، في آخر القرن (1887.1892) الفيزياء الحديثة مفيدة بشكل خاص .

ولكن أن يقال إن الحرارة هي شكل من أشكال الطاقة ، وشكل متفقر ، لا يفيد أبداً في التعريف بطبيعة الظاهرة ، وتبقى الطاقة كمية مجردة في النمط الرياضي . ومن الطبيعي أن يبحث علماء الفيزياء ، إلى جانب الطاقوية تفسيراً للطاقة الحثادية ، عن طريق اضطراب الجسيمات ، على أثر الأعمال التي قام بها كل من دالتون وأفوغادرو Avogadro وغاي - لوساك Gay - Lussac حول التركيب الجسيمي للمادة . إن نظرية الحركية في الغازات ، أسسها كرونيج Kronig «1856» وأكملها كولوسوس «1857» وسجلت نجاحات مهما مكنت بالتعاون مع علم الطاقة ، وضع معادلات الحالة . وهذه المعادلات ارتبط اسم فان دير وولز Van der Waals «1873» . إن العلاقة العامة بين الضغط وبين الثقل النوعي ودرجة الحرارة ، وبين معادلات الحالة تدخل بين المعادلات الضرورية في ميكانيك الموائع ،

وهي عندما تحفظ من عشوائية الحلول تقرب الميكانيك لكي يصبح علماً حقاً بالنسبة إلى ظاهرات الطبيعة .

ومن جهة أخرى لم يقتصر تحرك الجسيمات على تفسير التعادل بين الطاقة الميكانيكية والطاقة الحرارية . وقد بين بولتزمان Boltzmann أن الطاقة الحرارية ليست هي الطاقة الحركية العادية بل طاقة حركية ذات تحرك غير منتظم وأنه التطور نحو اضطراب الحركات الجسمية هو الذي يخلق التقهقر . وهكذا تلقى القانون الثاني الأساسي في علم الترموديناميك تفسيراً ميكانيكياً ، وبذات الوقت برز شرط صلاحه ، أي تعقيد المادة المذكورة في سلمنا . وعندها دخل حساب الاحتمالات في مجال الفيزياء الرياضية . نظراً لأن الاضطراب لا يمكن أن يرد إلا إلى قوانين الإحصاء .

وحدد تطور النظريات الميكانيكية في الحرارة ، نطاق استعمال الأداة الرياضية في مجال الميكانيك الكلاسيكي والانفتاح على أبعاد جديدة .

علم البصريات : - ويعود الفضل في تطور علم البصريات الجيومتري ، الناشئ في القرن السابع عشر ، بأن واحد إلى الرياضيين وإلى صانعي الأدوات . ولكن في بداية القرن التاسع عشر قدم هاملتون رياضيات كبرى مساهمة ملحوظة لعلم البصريات الجيومتريّة : وهما : هاملتون ، وغوس . وبرز الإعلام عن البحوث من خلال النموذج الذي قدمه الميكانيك وخاصة في أعمال هاملتون .

« سواء اعتمدنا نظرية هويجنز Huygens (الأرجحة) أو نظرية نيوتن (البث) أو أية نظرية أخرى ، من أجل تفسير القوانين التي تحكم انتشار الأشعة الضوئية ، يمكن اعتبار هذه القوانين بذاتها ، وكذلك الخصائص والعلاقات بين مسارات الضوء ، وكأنها تستحق دراسة منفصلة يمكن تسميتها علم البصريات الرياضية » هكذا صرح هاملتون .

إن هذه البصريات الرياضية ، أسسها هاملتون على صورة الميكانيك التحليلي ، وعلى حساب التغيرات مطبق على وظيفة تكامل تسمى « فعل » يشكل العنصر التفاضلي فيها حاصل ضرب معيار المكان بالتنقل الأولي ds . أما المبدأ الأقصى للطريق البصري الذي وضعه فرمات Fermat وكذلك قاعدة هويجنز Huygens (القائلة بأن الأشعة في كل نظام متناسق ، والصادرة عن نفس النقطة أو التي هي في الأصل عامودية على سطح ما ، تبقى عامودية على أسرة من السطوح بعد تلقها عدداً من الانعكاسات أو الانحرافات) تجد مكانها أيضاً في نتائج عقيدة هاملتون . والقيمة الأساسية في هذه العقيدة كونها قابلة ، بأن واحد للتفسير الجسماني (بمعنى مبدأ الديناميك القائم على العمل الأقل) كما هي قابلة للتأويل التاريخي . وهذه ثنائية لم يرفضها علم الفيزياء الحديث كما أنها بدت خصبة بشكل خاص .

ولكن الطبيعة التأرجحية للضوء حددت علم البصريات الحديثة والرياضية حدود صلاحية بدت بارزة بشكل خاص في الميكروسكوب ، كما أثبت ذلك آبي Abbe وهلمهولتز Helmholtz إلا أن حدود الصلاحية هذه ، التي تأخر الاعتراف بها ليست هي العنصر الأكثر بروزاً في تاريخ التواصل بين البصريات ، والميكانيك . إن تطور النظرية التأرجحية هو الذي قدم المساهمة الجوهرية حول هذه النقطة .

ويعد الكتاب القِيم الذي وضعه هويجنز والمركّز على تصور حركة تأرجحية ذات ذبذبات طولية ، ظلت نظرية الضوء جامدةً بخلال القرن الثامن عشر . واستمر زمن النشاط الزاخم الذي بدأ سنة 1801 على أثر اكتشاف التداخلات من قبل توماس يونغ Thomas Young ، استمر بفضل أعمال فرنسل Fresnel وأراغو بين 1815 - 1819 . ويعدها شبه الضوء بحركة تأرجحية ذات ذبذبات اعتراضية . وهذا الاكتشاف هو الذي وضع ، بالنسبة إلى النظرية وإلى النماذج الميكانيكية الصعوبات الكبرى . إن نظرية التمدد أتاحت التثبت من الذبذبات الاعتراضية في الأجسام الصلبة ، دون السوائل والغازات . إن فرضية الأثير المطاطي كوسط لانتشار الذبذبات الضوئية السريعة جداً لا يمكن أن تؤدّي إلى أي حل مرض . إن ماكسويل هو الذي قدم حلاً في سنة 1864 بواسطة الموجات الكهربائية المغناطيسية التي أتاحت ، كما أثبت ذلك لورانتز Lorentz سنة 1875 ، التثبت من قوانين الانعكاس والانحراف (من وجهة نظر الزخم الضوئي) التي بينها فرنسل وثبته التجارب ، رغم استعصائه على كل تأويل بواسطة المطاطية ، وعملت اكتشافات هرتز Hertz سنة 1888 على نقل الموجات الكهرومغناطيسية من النظرية إلى التجربة وأمنت المصير النهائي لتوقعات ماكسويل .

إذا كان الحدث الرئيسي في القرن التاسع عشر ، من وجهة نظر الفيزياء قد تم ، بواسطة الأكثر مغناطيس ، ضد بعض النماذج المقدمة ، من قبل الميكانيك الكلاسيكي ، فلا يجب الاستنتاج من ذلك إن هذا الميكانيك ليس له أي تأثير ولا أية فعالية . إن تاريخ الكهرباء والمغناطيسية لا يجيّد مثل هذا الاستنتاج ، بل العكس ، وبصورة أدق ، وفي هذا المجال المميز من التواصل بين الفيزياء والميكانيك إن التأثيرات المتبادلة والخصبة هي التي يتوجب إبرازها .

الكهرباء والمغناطيسية : بدأ علم الظاهرات الكهربائية في أواخر القرن الثامن عشر مع قانون كولومب Coulomb وبوجه تعتبر القوى العاملة بين شحنتين كهربائيتين متناسبة عكساً تبعاً لمربع المسافة بينهما . وأتاحت المماثلة بين قانون نيوتن ، أمام بواسون ، في سنة 1811 توسيع مجال النظرية الضغطية الموسعة في مجال الميكانيك ، وبالنسبة إلى الجاذبية الكونية لتشمل مجال الكهرباء . وفي الحقل المفتوح هنا أمام البحوث ارتبطت التجريبية بالرياضة [من الرياضيات] .

وارتبط اسم غوس باستكمال نظرية الزخم (1839) وكذلك بالتعريف العملي لكميات الكهرباء وبالنظام الأول المغنطائي للوحدات الكهربائية والمغناطيسية .

وفتح منظور جديد على الظاهرات الكهربائية في سنة 1820 بفضل تجربة أرسند Ørsted حول انحراف الإبرة المغناطيسية بواسطة التيار الكهربائي . وأثبتت أعمال عديدة جرت بين 1820 و 1822 جوهر الخصائص المغناطيسية في التيارات الكهربائية . وبدت أساءة أمثال فراداي وأمبير Ampère مرتبطة بالنسبة إلى هذه الاكتشافات التي تعبر عن نفسها بصورة أساسية من خلال اللغة الميكانيكية في حقول القوى ، كما أسست العلم الجديد في الكهرباء كعلم كهربائي ديناميكي . واستعمل أم Ohm في سنة 1826 الخصائص المغناطيسية لكي يعرف ولكي يقيس زخم التيارات الكهربائية . وحملته المقارنة مع الحركة إلى دراسة عقلانية ظلت كلاسيكية ، وقد ميزت هذه المشابهة السمات الخاصة بالقوى الكهربائية المتحركة عن سقوط الضغط أو الزخم ، وأيضاً عن زخم التيار .

وفي سنة 1831 اكتشف فراداي Faraday الحث الكهربائي ، واكتشف في سنة 1837 تأثير العازل الكهربائي على الظاهرات الكهربائية الثبوتية . وابتداء من سنة 1846 ، ودائماً عن طريق التجربة ، بينَ عمومية الخصائص الكهربائية المتوازية ، في المادة ، وتوصل الى مفهوم أساسي في التطورات النظرية اللاحقة ، وهي ان المفاعيل الكهربائية والمغناطيسية ليست مفاعيل آتية من بعيد . وهي تنقل بفضل العازل الكهربائي الذي هو مركز الحقل الكهربائي أو المغناطيسي . وبفضل أعمال فراداي استلهم ماكسويل الفكرة التي أوصلته في سنة 1855 - 1856 الى الدراسة الأولى حول حقل القوى المغناطيسية في التيارات الكهربائية وإلى المعادلة التفاضلية الموجهة والمعروفة . وهكذا ، سواء نظرنا الى الأعمال التي جرت في مطلع القرن بفضل قوانين كولب ، في المماثلة مع التجاذب الكوني ، وحيث يتم التركيز على القوى المنبثقة عن الشحنات الكهربائية أو المغناطيسية ، أو نظرنا الى الأعمال التي جرت في منتصف القرن بفضل اكتشاف الظاهرات الكهرومغناطيسية وحيث تم التركيز على مفهوم حقل القوى التي يتحملها وسطاً ما نظراً لأن الشحنات ليست الا نقاطاً منفردة في الحقل المغناطيسي ، من المؤكد ان الفكرة واللغة والنتائج في مجال الميكانيك كلها مرتبطة بتطوير نظريات الكهرباء . وأكثر من ذلك ، وأكثر من محاولات ماكسويل سنة 1862 ، من أجل تحقيق صورة ميكانيكية للحقل المغناطيسي ، وهي محاولة قد تم التخلي عنها من قبل فاعلها بالذات ، وأكثر من « الضغوطات » التي تخيلها مكسويل أيضاً على طول خطوط القوى في الحقل الكهربائي أو المغناطيسي ، من أجل اثبات الانتقالات الديناميكية فوق نموذج من نماذج التوترات المطاطية ، رمز نظام المعادلات المسماة معادلات ماكسويل إلى توضيح الفيزياء بواسطة الميكانيك . وبعد أعمال هنريك هرتز Heinrich Hertz الذي قدم ، في سنة 1890 إلى قانون الحث الذي وضعه فراداي ، شكله كمعادلة تفاضلية من خلالها بدا هذا القانون تابعاً لقانون مكسويل ، وبدت معادلات الكهرباء المغناطيسية ذات مسار مشابه وذات تماثل جمالي مماثل للمعادلات القانونية في الميكانيك التحليلي . وأخيراً في سنة 1884 ادخل بوانتغ Poynting في مجال الكهرومغناطيسية ، فكرة الدفع الطاقوي . وفي سنة 1900 أثبت لورانتز Lorentz وهنري بوانكاريه انه بالإمكان ربط هذا الدفع من الطاقة ، بكمية من الحركة الكهرومغناطيسية .

وفي نهاية القرن ظهر الوعي باستحالة رد الكهرومغناطيسية الى الميكانيك بشكل عام . بل ان الفكرة العاكسة هي التي برزت . الواقع بأن الشحنة المتحركة تجر وراءها حقلها الكهرومغناطيسي ، وان هذا الحقل يتضمن كمية من الحركة أوحى بفكرة عن الجرم الجامد في الميكانيك الذي يظهر بشكل كهرومغناطيسي . أما النظرية الناجمة عن ذلك فلم تدم طويلاً . ولكن يمكن القول انه من وراء تقدم النظرية الضغنية (ضغط موجه وضغط غير موجه) وكذلك نظرية الطاقة ، الحاصلتين بفضل الكهروديناميك استفاد الميكانيك من العلم الجديد بفضل المماثلات التي قادت الخطوات الأولى لهذا العلم ، وكذلك استفادت اللغة والمفاهيم بحيث قفز الديناميك النيوتني ليتحول الى ديناميك نسبي .

V - الميكانيك الفيزيائي والنقاش حول طريقة الميكانيك الكلاسيكي

بواسون Poisson والميكانيك الفيزيائي : استعمل تعبير الميكانيك الفيزيائي من قبل بواسون منذ سنة 1814 بمقابل الميكانيك التحليلي .

يقول بواسون . « كان الواجب [معالجة القضايا الرئيسية في الميكانيك] بشكل مجرد خالص ، وذلك لاكتشاف القوانين العامة في التوازن وفي الحركة ، وفي هذا النوع من التجريدات ، ذهب لاغرانج الى أبعد ما يمكن تصوره وذلك عندما استبدل الروابط الفيزيائية بين الأجسام بمعادلات بين روابط النقاط المختلفة . وهنا وجد ما يشكل الميكانيك التحليلي . ولكن الى جانب هذا التصور المدهش يمكن الآن اقامة الميكانيك الفيزيائي الذي يقوم على مبدأ وحيد هو رد كل شيء الى الأفعال الجزئية التي تنقل من نقطة الى أخرى عمل القوى المعين والتي تشكل وسيطة التوازن بين هذه الأفعال . وبهذا الشكل يستغنى عن الفرضيات الخاصة عندما يراد تطبيق القواعد العامة في الميكانيك على مسائل خاصة » .

وإذاً فقد قامت مجادلة منهجية منذ مطلع القرن . ان الروابط المجردة في الميكانيك التحليلي هي . النمط الخاص بالأسلوب الرياضي المتكرر لتلافي صعوبة التحليل المعقد : التماسك الداخلي في المادة ، علاقات التماس بين الأنظمة المادية ، الخ . ويرى بواسون ان الفيزيائي يرى ان الأفعال الجزئية التي تقع عند كل مزدوج من النقاط المادية تعبر عن الطبيعة الخاصة في الأشياء . إن الميكانيك الفيزيائي يبطل إذا فكرة الاتصال المجردة ويعالج الأنظمة المادية وكأنها مكونة من نقاط حرة ، ولكنه يضيف الى القوى التي يقرأها الميكانيك الأول ، الأفعال الجزئية . وستند لبواسون ، فإنه بالنسبة لمن لا يهتم الا بالنتائج يكون العلمان الميكانيكيان متعادلين .

وهنا يوجد تطور لفكرة قال بها لابلاس ، ولكن بواسون أقام عليها مدرسة ، وبصورة خاصة لدى مؤسسي علم المطاطية ، ان سلسلة : نافيه ، كوشي ، باري دي سان فينان *Barre de Saint - Venant* ، بوسينسك *Boussinesq* ، دي فريسنيه *de Freycinet* ، هي السلسلة التي أدامت حتى النصف الثاني من القرن عقيدة بواسون .

مُلِّمٌ : نظرية الشعريات : وفي نفس المنظور نجب الإشارة الى الجهود المبذولة ، بخلال النصف الأول من القرن من أجل وضع نظرية تتضمن أسماء مؤسسي الميكانيك الفيزيائي وهي نظرية الفعل والاثر الشعري .

ان الظاهرة التي تتميز بها السوائل ، والتي تصعد الماء ، ضد الجاذبية الأرضية في الأنابيب الشعرية ، كانت معروفة منذ زمن بعيد ، وتشكل ، بشكل خاص ، صعوبة ضخمة تستعصي على القياسات الدقيقة في مجالات الضغوطات الناتجة عن ارتفاع السائل في البارومتر والمانومتر . والخدعة الأساسية التي قدمت الدراسات المستحدثة والمستمرة في هذا المجال بخلال القرن التاسع عشر ، قامت على القرابة التي أفرت بين الظواهر المتنوعة ومنها : شكل نقطة الندى ، بقاء هذه النقطة على الأوراق ، تماسك دوائر الصابون ، حبيبات الماء على الأجسام الندية الى أخرى . وهذه القرابة فسرها التامل الفكري في الميكانيك بوجود ضغوطات خارجية سطحية .

فكرة عمصرة في الأصل ، ليست بذات علاقة بالمفاهيم التي كانت السبب في نجاح الميكانيك التحليلي وقوامها ان الضغط السطحي هو أيضاً وسيلة لتلافي صعوبة تحليل البنية المعقدة للحصول على نتائج تنفيذ علماء الفيزياء . وهذه الفكرة هي العنصر الأساسي في النظريات العقلانية التي تلت

واستمرت بفضل يونغ ولابلاس وبواسون وغوس حتى سنة 1832. ولم تصبح هذه الفكرة موضوع قياس وواقع تجريبي الا في سنة 1885 عندما أقام الفيزيائي الهنغاري لوران أوتفوس (1848 - 1919) Lorand Eötvös تقنية تستبعد العديد من الأسباب التشويشية . ان سطح العدسة المقعرة السائلة لا يكون على اتصال بغير البخار المتصاعد منه ويستعمل كمرآة محدوبة لعمليات الأبطار .

ولكن الظاهرات المجموعة تحت الاسم الشامل «المفعول الشعري» تشير بما لا يقبل الشك إلى فكرة قوى الالتصاق في مجال الشيء غير المرئي . ومنذ بداية القرن الثامن عشر توصل جوزيا وينبرخت Josias Weithrecht ، وهو كسي (Hawksbee) إلى فرضية جذب مختلف عن الجاذبية الكونية ، يكون قوياً جداً عندما تضعف المسافة بين جسيمات المادة ، ويصبح غير محسوس عندما تصبح المسافة مرئية وقد أوحى هذه الفرضية بأعمال بواسون ، لابلاس ويونغ ، ولكن وظيفة التحليل الجزئي للمادة وللجذب المتبادل بين الجسيمات ، تتضاد عملياً بالنسبة إلى هذين الأخيرين لتقتصر على التعريف بالضغطات السطحية . لا شك ان مفهوم المادة الحزيرية المكونة من جزائر من المواد المكثفة جداً يفصل بينها خضم من الفراغ النسي ، هذا المفهوم وحده بفضل و . تومسون W . Thomson ، في سنة 1862 حججه الخامسة، ولكن في سنة 1869 بين كينك Quinke أن المسافة التي يصبح مفعول الجذب الشعري غير محسوس ، وهي المسافة المسماة « شعاع النشاط » تبدو ضعيفة جداً باعتبارها أقل من ($10 \times 50 \sim 10^6$) مم ، وهذا الحد قد صغر أيضاً فيما بعد إلى 10×10^{-6} سم . ولا يمكن الأخذ على بواسون ولابلاس ، اسمها اعترا المادة السائلة للحبيبات الخاضعة للمفعول الشعري وكأنها شبه مستمرة . ان نظريتهما ، ذات النتائج التي ما تزال مفيدة ، تشهد بالمساندة المتبادلة ، وبالتوافق ، فيها يتعلق بالنتائج ، بين ميكانيك الفيزياء والميكانيك التحليلي .

الصعوبة الأساسية : ان هذين المجالين من الميكانيك يبعدان كل البعد عن التساوي . وفي تصور بواسون Poisson من المستحيل ايضاح توازن أي نظام معزول عن كل أثر خارجي . ان كل القطر المادية عبر ذات الامتداد ، يجب ان تنزع إلى التجمع في نقطة واحدة تحت تأثير التجاذب الداخلي المتبادل . وهذا الاستثناء لم يكن جديداً . ان خطر تكثف المادة بشكل ضخم قد سبقت الإشارة إليه عدة مرات في القرن الثامن عشر . وقد أثار بشكل خاص حدوث عمل يتجاوز بصورة واسعة زمه في أكثر من ناحية ، ولم يكن له من جراء هذا ، الصدى الذي يستحق . وقد اقترح ر . بوسكوفيتش R . Boskovic (نظرية الفلسفة الطبيعية ، فيينا ، 1758) ان يستبدل القانون النيوتني للجاذبية ، بقانون أكثر تعقيداً ، لمراعاة تناوب حركات الجذب والدفع من جراء تناقص المسافة ، بحيث تبقى عمليات الدفع وحيدة ، وتزداد باستمرار عندما تنحدر المسافة إلى حد معين .

وفي القرن التاسع عشر توجه نافي وجهه مختلفة قليلاً كي يستبعد الخطر الذي يشكل بالنسبة إلى النظرية حجر عثرة . وكما هو الحال مع بوسكوفيتش ، وجه نافي اهتمامه إلى « الحالة الطبيعية » في الأجسام ، هذه الحالة المتميزة بانعدام الجاذبيات الداخلية ، ولكنه رأى أن هذه الجاذبيات تظهر منذ ان يحصل تشويه .

هذا التصحيح ، مهما بدا غير مصطنع ، لا ينبغي من صعوبة كبرى : استحالة وضع تمثيل

منطقي بين الجسم المطاطي المنسق ، والسائل القابل للضغط . ومع ذلك يوجد بين هذه الأنظمة المادية تمييز حقيقي إذ يتوجب إعطاء الجسم المطاطي معدل مطاطية جاذبية في حين ان هذه العملية مستحيلة بالنسبة الى السائل القابل للضغط .

وبعاني الميكانيكي الفيزيائي ، من جهة أخرى من صعوبة منطقية ضخمة ، كما ذكر ذلك لامي Lamé . فمن أجل الوصول بهذه الحسابات الى نهايتها حيث يمكن للميكانيكي الفيزيائي ان يصل الى نتائج الميكانيك التحليلي ، كان عليه ان يحول عاجلاً أم آجلاً المجاميع البسيطة الضئيلة الى متكاملات ثم رفض معالجة الأجسام وكأنها مجموعات نقاط مادية ، وأيضاً إعطاء المادة الاستمرارية التي كانت مرفوضة في الماضي .

الفيزياء والنماذج الميكانيكية : ان النقاش المنهجي الذي وضعته محاولة بواسون ، وصل الى الطريق المسدود ولذلك - وباتجاه آخر غير تنمية النظريات الفيزيائية ذات العلاقة بالنماذج الميكانيكية ، التي سبق ان تكلمنا عنها اعلاه ، تكلم الفيزيائيون ، في أواخر القرن ، وفي بعض الأحيان ، عن الميكانيك الفيزيائي . ان الأمر يتعلق في نظرهم بالافادة من المفاهيم الميكانيكية ، ومن المواد الرياضية ومن المقارنات التي يقدمها الميكانيك ، من أجل تنظيم الظاهرات المدروسة ، أولاً ، بحسب الطريقة الخاصة بالفيزياء . وهنا يكمن شيء آخر غير الميكانيك الجديد العقلاني الذي بطعم الى الاحاطة والى تجاوز الميكانيك القديم ، وذلك بادخال بنية مختصرة للمادة في مبادئه الأساسية . وبافتراض ان هذا الميكانيك الجديد ممكن ، فانه يتعرض كثيراً ، مع تجاوز مفهوم المادة التي يتركز عليها ، لان يصبح ، وبسرعة ، تحفة في متحف ، وبالتالي أقل استعمالاً من الميكانيك القديم حتى بالنسبة الى عالم الفيزياء . في أواخر القرن التاسع عشر لم تكن حدود تطبيق الميكانيك الكلاسيكي معروفة ، كما سبق وذكرنا ، في حقل الفيزياء ، ولم تكن موضوع فضيحة . بل بددت طبيعية بسبب الطريقة الخاصة بهذا الميكانيك الكلاسيكي ، والازعاج فيها لم يكن كافياً للقضاء على المكسب الثماني عن عقلانية وعن صياغة تضمنان التوصل الى أداة عامة ، قادرة على توفير عدد كبير من التطبيقات ، من شأنها تغطية التاويلات المتنوعة . يبقى ان نعرف ما إذا كانت المبادئ التي تركز عليها العقلانية وصياغة الميكانيك الكلاسيكي هي بدايتها غير ملموسة . وهنا تكمن مسألة أخرى ، قد فرقت تماماً بين المفكرين من النصف الثاني من القرن ، كما هيأت السبل ، ويحق ، أمام ابعاد جديدة .

VI - مناقشة مبادئ الميكانيك الكلاسيكي

ظهور تيار انتقادي : حوالي سنة 1850 ابرزت كتب « عدة » عناصر هذه المناقشة . وحاول دي سانت فينان Venant ، وكان عالماً ذرياً مؤمناً ، في كتابه « مبادئ الميكانيك المرتكزة على الحركة (السينماتيك) » (1851) ان يظهر القاعدة العقلانية في الميكانيك من كل مفهوم استدلالياً مبهم . ولذلك رفض ان يأخذ بمفهومي الجرم والقوة الا كمفاهيم مشتقة ، وقدم لها التعاريف التالية :

« ان جرم أي جسم هو العلاقة بين عددين تفسر كم مرة يحتوي هذا الجسم وجسم آخر ، مأخوذة بصورة عشوائية ودائماً هو نفسه ، من أقسام تتواصل ، بعد انفصالها وتصادمها اثنين اثنين ، الواحد ضد الآخر ، وذلك بفعل تصادم السرعات المتعارضة والمتساوية . ان القوة او الجذب

الاجمالي أو السليبي ، لجسم ما على جسم آخر هو خط يساوي ضرب جرم هذا الجسم بالتسارع المتزايد الأوسط الذي تتخذه نقاطه نحو نقاط الجسم الأول ، ويكون لها نفس اتجاه هذا التسارع » .

وفي ذات الحقبة ، رجع ريش (Reech) في كتابه « محاضرات في الميكانيك . . . » (1852) رجع الى رأي متروك منذ أولر (Euler) ، فجعل من القوة مفهوماً أول . والثشي الذي نقرده عنده ، بدرجة عالية من الوضوح ، هو خط مشلود يفترض انه مجرد أو معزول عن صفته كماءة او كجرم ، هذا الشيء اتاح وضع تعريف . ان ريش Reech تصوّر نقطة مادية معلقة بخيط . وكل شد في الخيط يولد قوة قابلة للقياس بمقدار التمدد ، ومن شأنها تغيير حركة النقطة . ومن خلال تأملات يختلط فيها التجريد الرياضي والدعوة الى النتائج التحريية ، سرّ بالعتور مجدداً على القانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي دون الحاجة الى التذرع او الاستعانة بمبدأ الجمود . ان الحركة المستقيمة والموحدة الشكل ، في حالة النقطة المادية الحرة ، نستخدم من أجل التعريف ، عن طريق الافتراض الاصطلاحي الخالص ، بما يمكن ان يسمى بالقوة الشاملة .

وفي أواخر القرن ، بين أندراد (Andrade) ، في كتابه « دروس في الميكانيك الفيزيائي (1898) ان نجاح حسابات ريش يعود الفضل فيها إلى استقلال فرق التسارعات (وهذا الفرق يتصل بقوة الخيط) وذلك بالنسبة الى مركز الحركة ، كما حاول « اندراد » إستكمال وتحسين طريقة محركها الواعي نوعاً ما هو إستبعاد المركبات الإمتيازية في الميكانيك . ولكن للأسف بدا هذا الإستبعاد مستحيلاً . إن طريقة ما سمي « مدرسة الخيط » تفترض وجود مركز تمارس فيه كل النقط المادية ، بعضها على البعض الآخر ، مفاعيل متبادلة ومتعادلة ، إثنين إثنين .

أرنست ماش Ernest Mach : يعتقد أرنست ماش (1838 - 1916) وهو أحد النقاد الأكثر صفاء في أواخر القرن ، أنه عطل في كتابه « الميكانيك » (1883) الصيغة الخاصة ، لمبدأ تعادل الفعل وردة الفعل ، وذلك باعتماده تعريفاً للجرم يتجنب أيضاً صعوبات التراث الكلاسيكي (كمية المادة) وكذلك المصاعب التي يعاني منها علماء الذرة .

يرى ماش أن جسمين في ذات الجرم هما جسمان يتبادلان التسارع المتساوي والمتعارض تعارضاً مباشراً ، كما يؤثر أحدهما بالآخر . وعندما تكون التسارعات في نفس شروط العمل ، وغير متساوية ، فإن العلاقة بينهما هي من حيث المبدأ علاقة كتل أو أجرام (masses) . إن التمثيل البدئي للقانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي هو أكثر إرضاء في ما يتعلق بالتناسق بين القوة والجرم والتسارع ثم إن المؤلف غمز بالإشارة إلى هذا الموضوع بحيث أنه - إذا لم تتناول معرفتنا إلا الحركات النسبية - من الواجب ، بصورة أولى ، أن يكون إختيار نظام الركون النموذجي غير حاسم . ويُفسّر نفس الدوران النسبي بأن معاً بحركة الأرض بالنسبة الى الكواكب الأخرى كما يفسر بحركة ، في مجمل هذه الكواكب ، حول أرض ثابتة . ان تسطح الأرض وتضاؤل التسارع في الجاذبية عند خط الاستواء هما حدثان غير قابلين للتفسير ضمن هذا التأويل الأخير . وأخيراً ركز ماش الانتباه على انه من المستحيل تجاهل بقية الكون ، حتى في حالة عدم الاهتمام الاعمى بالجرمين بصورة متبادلة . ومن حيث المبدأ ، يجب في كل لحظة اعتبار كل الأجرام وكأنها متفاعلة في ما بينها . وكما انه من المستحيل أيضاً ترجمة

هذا الرأي بشكل عملي ، يفترض إعمال القانون الأساسي في الميكانيك الكلاسيكي ، وجود تقريبات ، ولا شيء يسمح بالقول والتأكيد انه في سلسلة النتائج ، لا تظهر صعوبات تقتضي إعادة النظر بالمبادئ .

ميكانيك (هرتز) (Hertz) : دون التنكر للقيمة العملية التي يمتاز بها النظام الكلاسيكي ، عمل هـ . هرتز (1894) على اقامة بناء أكثر ثباتاً من الناحية الكمالية المنطقية والشكلية . ان مفهوم القوة والطاقة ، هما في نظره نتيجة عمل الفكر المقتصر عليهما ، من أجل الحصول على صورة لعالم مغلق على نفسه وخاضع لقوانين ، ثم التخيل ان وراء الأشياء التي نراها هناك أشياء أخرى غير مرئية ، ثم البحث ، وراء حواجز حواسنا عن عوامل مستترة . ولكن يمكن الافتراض أن هناك شيئاً خفياً يعمل ثم إنكار ان هذا الشيء هو شيء آخر غير الجرم وغير الحركة ، وغير مختلف عن الأجرام والحركات المرئية ، إنما له علاقات بنا وبأسلوب ادراكنا المعتاد . وادخال هذه العناصر الافتراضية ، المتكونة من الأجرام ومن الحركات الخفية يسهل إقامة الميكانيك . لقد افترض هرتز بصورة مبسطة انه بالنسبة الى نظام معزول ومتجرد اي لا يوجد خارجه أي جرم قابل للرصد أو خفي - ان القانون الأساسي هو التالي :

ان النظام يمتاز بسرعة ثابتة مساراً قليل الانحناء ، اي مسار اغناثه في نقطة ما أقل من انحناء أي مسار آخر مجاور .

يجب ان نفهم من كلمة « منحنى » المجموع ، الذي يشمل كل عناصر النظام ، والمؤلف من كميات تدخل في الشكل : $m[x''^2 + y''^2 + z''^2]$ بحيث ان قانون هرتز يكتب بلغة حساب التغيرات : $\delta | S m (x''^2 + y''^2 + z''^2) | = 0$ باعتبار ان التغير δ يؤخذ على أساس ثبات الرموز التالية ، x', y', z' و x, y, z . بعد هذا ، يكون النظام المادي القابل للرصد دائماً جزءاً من نظام معزول بقيته خفية جريباً أو كلياً . وبواسطة الروابط كما قصد بها لاغرانج ، بين النظام المرصود وبقية النظام المعزول الذي هو جزء منه ، تكتب بسهولة قوانين حركة النظام المرصود . وكل خروج على القاعدة ملحوظ بين النتيجة النظرية والتجربة يمكن ان يجد مبرره في وجود أجرام وحركات خفية اضافية .

والصفة التحكمية في هذه الأجرام الخفية ، المتحركة بحركات غير قابلة للرصد تجعلها قابلة لأي استخدام في حاجات الغرض المبني . ولكن الأمر الذي يعطي أقصى الليونة وأقصى ملائمة للنظرية يبدو هنا كتمويه براق جداً فلا ينال الموافقة المطلقة بدون اي تحفظ .

طروحات : هنري بوانكاريه Henri Poincaré - انه ضمن منظور آخر مختلف جداً ، قد قام الدليل على فكرة الملائمة ، بفضل هنري بوانكاريه Henri Poincaré (راجع كتاب : العلم والفرضية ، 1906) . ان هذا العالم الرياضي الكبير اخضع لنقد نفاذ مبادئ الميكانيك الكلاسيكي ، وبين الصفة الاصطلاحية لهذه المبادئ ، وانه بواسطة تعريف القوة بدت هذه مساوية لحاصل ضرب الجرم بالتسارع ، وبالتعريف بدا الفعل مساوياً لردة الفعل بحيث يمكن تمييز التوازن عن طريق معادلة نظام القوى بصفر . وقانون التركيب الجيومترى للقوى هو بذاته اصطلاح من وجهة نظر منطقية

خالصة . ولكن هذه التعاريف والاصطلاحات ليست كلها عفوية . بل هي ثمرة تجريدات من تجارب بدائية بسيطة تكفي لتبرير اتخاذها كأساس ومنطلق . وإذا فالميكانيك ليس مجرد بناء منطقي خالص ومسبق ولا هو نتيجة معطيات تجريبية . ان الميكانيك يأخذ من الاثنين بآن واحد .

وهذه الملاحظة قادت هنري بوانكاريه إلى طرح سؤال مهم جداً . بعد الاعلان بشكل واضح عن مبدأ الحركة السبي ، أي الاحتماط بقوانين الميكانيك الكلاسيكي عند الانتقال من نظام مركزي إلى نظام متحرك بالنسبة إلى الأول بحركة مستقيمة وموحدة ، تساءل هنري بوانكاريه لماذا لا يطبق هذا المبدأ الذي يتضمن نفس المناقشة التي تنطبق على المادىء السابقة ، لماذا لا يطبق الا في حالة الحركة النسبية المستقيمة والموحدة ؟ . وقد أثار هذا الحصر بذاته مشكلة . وهنا يتدخل ، برأي المؤلف ، مفهوم السهولة والملاءمة .

في النظرية الكلاسيكية ، وعند تغيير نظام الارتكاز ، يتألف التسارع من تسارع انسيابي وتسارع استكمالي ، يسمى تسارع كوريوليس Coriolis ، والذي يجمع بأن واحد حركة المتحرك بالذات والحركة السبية للمركزين الواحد منهما بالنسبة للآخر . ويبقى قانون الميكانيك نفسه بشرط ادخال - إلى جانب القوى المعتبرة حتى الآن كقوى حقيقية - غمطين من القوى الوهمية المتعلقة مع التسارعين السابقين والذين يسميان قوى دافعة مركزية وعادية أو قوى انسيابية ، وقوى دافعة مركزية مركبة . وعلى هذا ، وفي حالة الميكانيك الأرضي ، يسهل تفسير تسطح الأرض ، وتدوير مجال ارجعة رقاص فوكولت Foucault ، والتغير بحسب الموقع ، في طول الرقاص الذي يُعبرُ الثانيةً ، وانحراف القذائف نحو الشرق ، وطاهرة المد والجزر ، بواسطة دوران الأرض والقوى المركزية المتراكمة الناتجة عن هذا الدوران . ولكن القول بأن الأرض تدور لا يمكن ان يكون له معنى الا اذا عرفنا بالنسبة إلى أي شيء تدور . وإذا غطت السحب الكثيفة بصورة دائمة السماء عن أعين الناس بحيث تمنعهم من رصد النجوم ، وحتى معرفة وجودها ، فإن احداً لا يخطر بباله ان الأرض التي نَحْمِلُها يمكن أن تكون الا ثائنة لا تتزعزع . والرصاد الأرضيون ، امام الظاهرات التي دكرناها ، كانوا سيكونون مضطربين إلى اعتبار القوى التي تفسر هذه الطواهرات ، لا كقوى مركزية ناعرة وهيمية بل كقوى حقيقية

بعض هذه القوى (القوى التي تسميها النظرية الكلاسيكية بالقوى المركزية النازعة أو قوى الانسيابي ، والتي تربط بمواقع نسبية ، مواقع العناصر المادية) يمكن ان نتج عن عمل تبادل بين اجسام غائبة للجاذبية الكونية وان تشكل حدوداً تصحيحية لهذا الجذب ، كما انها يمكن ان تكون من تأثير وسط شديد اللطافة شبيه بالتأثير الذي يكثر ذكره .

والقوى الأخرى (التي تسميها النظرية الكلاسيكية قوى مركزية نازعة مركبة ، والمتعلقة بسرعات نسبية) تجد في عائلته الاحتكاكات نوعاً من التفسير . ولكن العلماء الأرضيين ، السائرين في هذا الطريق سوف يواجهون تعقيدات وتعقيدات « إلى أن يأتي كوبرنيك جديد فينظفها كلها بضربة واحدة بقوله . من الأيسر الافتراض بأن الأرض تدور » . وهذا لا يعطي الفضاء المطلق ، أي المركز الذي تسد إليه الأرض يُعْلَمُ ما اذا كانت تدور ، أي وجود موضوعي . ببساطة ، وبين كل الفرضيات أو كل المصطلحات ، التي تسمح بتوضيح كل الظواهرات الأرضية تُمَّ صم ، ضمن نظرية

واحدة ، التجارب البسيطة والتجارب الدقيقة ، هناك فرضية هي أكثر ملاءمة من الفرضيات الأخرى . هذه الفرضية هي التي تؤمن للحركة المنتظمة والموحدة امتياز ثبات قوانين الميكانيك ، وهي التي تبعد بذات الوقت الأرض عن فئة المرتكزات الخصوصية وذلك بتمييز هذا الاستبعاد بالدوران . ان النظرة النقدية التي ألغىها هنري بوانكاريه لم تقف عند حدود المبادئ النيوتونية .

« أن الصعوبات المثارة بفضل الميكانيك الكلاسيكي قد جرّت بعض المفكرين إلى تفضيل نظام جديد على النظام الكلاسيكي سموه الميكانيك الطاقوي . . . وقد اعطاه هلمولتز Helmholtz شكله النهائي » هذا هو قول هنري بوانكاريه .

يوجد في أساس هذا النظام تعريف الوظائف التي تولّف الطاقة والتي تساعد بأن واحد على تطبيق مبدأ حفظ الطاقة الشامل وعلى مراعاة هذا الشكل أو ذاك من أشكال « مبدأ الفعل الأقل » . وهذا التعريف لا يتطلب فرضية خاصة سابقة حول البنية الداخلية للمادة . ان الأجرام (Les masses) ليست ، في النظرية ، إلا المعاملات coefficients التي تدخل مع معايير الموقع ، ومشتقاتها (الممثلة للسرعات النسبية) في التعبير عن الطاقة . ويمكن الكلام أيضاً عن القوة ، بفعل الملاءمة ، وذلك بالإستناد إلى الصيغ الكلاسيكية ، وذلك بعد تحديد الأجرام ، ولكن هذا المفهوم عاجز تماماً عن المضمون الإيجابي . ويوجد أذا مكعب ضخم من الناحية المنطقية . للأسف ، وخارجاً عن حالات بسيطة جداً تستطيع النظرية الكلاسيكية حلها بدون صعوبة ، يكون اختيار التعابير التي يجب ان تشكل جزءاً من الطاقة حتى يتم تأليف ثلاثة أجزاء منها ، أمراً مستحيلاً . « ولا يبقى امامنا إلا صيغة واحدة بشأن مبدأ حفظ الطاقة : هناك شيء يبقى ثابتاً » . وهذا الشيء غير كافٍ ولا فائدة كبيرة منه ظاهراً .

ولا يبقى ، بعد كل هذا ، الكثير من الوهم حول القيمة الموضوعية لمبادئ الميكانيك ، ونفهم بسهولة لماذا أثارت طروحات هنري بوانكاريه الاهتمام . لا شك - وكتابه « قيمة العلم » يشهد بذلك - انه لم ينغمس ضمن شكوكية سلبية . ولكن كان في موقفه ما يثير الاضطراب في الأذهان عند الكثيرين . ولكن الجراة التي عرف بها كيف يصل الى البعيد في نقد الأفكار المأخوذة ، ثم وضوح أفكاره ، كل ذلك اثر بعمق في الجيل العلمي الشاب في أواخر القرن . وهذا ما يعطي لعمله قيمة لا بدليل عنها .

بيار دوهميم Pierre Duhem : من حسن الحظ ان عمل هنري بوانكاريه لم يكن الانجاز الوحيد في هذه الحقبة المعصية . ان فضل بيار دوهميم (1861 - 1916) يقوم على انه عالِم القضية من طريق آخر : كان بيار دوهميم قد غرق بشكل أكبر في بحوث الفيزياء . وكان أكثر تحسناً بالمعطيات الدقيقة لوضع العلم أكثر من اهتمامه بالسؤال المسبقة الأسس المنطقية . ان المعطيات المحددة هي النظريات الميكانيكية المختلفة التي صيغت من أجل احتياجات الفيزياء ، والتي أتاحت - بشكل عام - معالجة أربع فئات كبرى من الظواهر هي النظم القادرة على احداث تغيرات قابلة للانعكاس ، نظم الاحتكاك ، ثم النظم ذات الآثار البطائية Hysteresis ، والنظم التي تحتجزها التيارات . وقد اقتضى

وضع النظريات وجود فرضيات خاصة بكل فئة ، واعتماد الصيغ ذات النمط المتغير بين فئة وفئة . وإذا كان ليس من مجال للتعجب من تشتت النماذج الميكانيكية ، وإذا كان وجود التغيرات التي لا جود فيها (والتي يمكنها ان تغير بدون تعديل في جرمها) وبصورة خاصة عدم استغراب تنوع درجة الحرارة ، قد اظهر ان مبدأ دالمبير d'Alembert لا يمكنه ان يساعد على قيام الديناميك العام ، بدون تغير ، يبقى ان هذا الديناميك العام يراه دوهيم مركزاً على ترموديناميك ، ما يزال يحتاج الى من يضعه . والصعوبة تكمن في وجود تعددية في الميكانيك يقامها تطور الفيزياء ، التي يصعب - رغم المحاولات الجارية من أجل تقليص عدد المفاهيم الأولية - بشأنها ، اجراء التوليف ضمن وحدة كبرى .

وفي مواجهة رؤية مشبته ، نوعاً ما ، للأشياء ، ومغاكمة لواقع تكاثر وجهات النظر المختلفة والمتعادلة منطقياً ، والتي يصعب اجراء الاختيار بينها إلا لاسباب يسر وسهولة ، من المهم التذكير بالملبوس الاساسي لكل علم جدير بهذا الاسم .

VII - توقع ميكانيك جديد

ان تجربة ميكلسون Michelson سنة (1881) ، والمستعادة بمعاونة مورلي Morley سنة (1887) ، ثم تأويلها من قبل لورنتز Lorentz سنة (1895) ، كل ذلك يضع نشأة النظريات النسبية في الحقبة بالذات التي بُنينا ضياعها . وتاريخ هذه النظريات يعود الى القرن الذي هو فرنر ويتطلب معالجة منفصلة . ان الاستنتاج الحق من القرن التاسع عشر ، في مجال الميكانيك ، يقوم على الضيق ، وعلى عدم اليقين المنبعث من استخدام مبادئ كلاسيكية ، وعلى توقع تمهيد راديكالي .

كتب هنري بوانكاريه في كتابه « العلم والنتج » يقول : « مهما يكن من أمر ، من المستحيل التملص من هذا الشعور بأن مبدأ النسبية هو قانون عام من قوانين الطبيعة وانه يستحيل ، وبأية وسيلة يمكن تصورها ، اثبات شيء غير السرعات النسبية . . . وقد اعطى الكثير من التجارب المتنوعة نتائج تتوافق بحيث تمحور إلى اعطاء هذا المبدأ في النسبية قيمة تشبه قيمة مبدأ التكافؤ مثلاً . ويمحدر في جميع الأحوال النظر إلى ماهية العواقب التي توصلنا إليها هذه الرؤية ، ثم اخضاع هذه العواقب لرقابة التجربة » .

وكتب بيار دوهيم يقول : « ان الميكانيك الجديد يحل على أساس النوعيات ، ولكن من اجل التحليل الدقيق ، فهو يصورها برموز عددية . والميكانيك هو من مبتكرات ارسطو وهو أيضاً من اهتمامات ديكرات من حيث انه رياضيات شاملة . . . » .

. . . « كل ما يمكن التأكد عليه هو انه لا يوجد سبب منطقي يتيح النظر الى الميكانيك الموجود بجميع اشكاله ، وكأنه الشكل الذي لا شكل بعده . وبصورة خاصة ، ان دراسة الاشعاعات المتنوعة ، والتي تعطي ، منذ عدة سنوات للباحثين المجريين ، فرص الاكتشاف ، هذه الدراسة كشفت لهم مفاعيل غريبة يصعب اخضاعها للقوانين المعروفة في علم الترموديناميك المعروف من قبلنا ، بحيث انه لا يستغرب انبثاق فرع جديد من الميكانيك صادر عن هذه الدراسة » .

ولكن بوانكاريه ودوهيم لم يقطعوا الخطوة الحاسمة ، ان الانتقاد العميق لقياسات الأطوال والحقب ، هذا الانتقاد وضع الطبيعة الحقة الفيزيائية: طبيعة الارتباط التي أقامها مبدأ النسبية بين الفضاء والزمن ، وأن المعالجة الرياضية للنوعيات والتي احلتها النظرة النسبية ، ثانية وبالضرورة محل الكميات في العلم الكلاسيكي ، وان الاهمية الحاسمة المعطاة لمفهوم الطاقة في الرسيمات التارجحية ، هذه كلها تعتبر مكتسبات لم تتولد الا بعد اعمال بير انشتاين .

وكان انشتاين ، منذ شبابه قد عرف كيف يحقق ما عجز عن تحقيقه كبار ممثلي العلم الكلاسيكي ، المحرجين - ربما - بمعرفة معمقة جداً بتعقيدات الموضوع ، فلم يجرؤوا ولم يستطيعوا القيام به . ان الجراءة التي تتيح الاكتشافات الكبرى هي في أغلب الاحيان ثمرة الفتوة كما هي ثمرة المعارف المجزأة والمحدودة .

ولكن مهما كانت الأسباب التي منعت هنري بوانكاريه من الوصول إلى مجده تأسيس « النسبية » ، فإن تاريخ الميكانيك في القرن التاسع عشر ينتهي بواقعة إيجابية . ففي الحين الذي توصلت فيه الفكرة إلى النضج في الحقل الكلاسيكي ، وحيث أتاح اكتمال الشكل التعليمي انتشاراً واسعاً في مجال التعليم ، هياً انقسام الميكانيكيين ، حول انتقاد الأسس ، الأرض لقيام تطورات غير مرتقة . ان الميكانيك الكلاسيكي ، بعد ان ورث اعمال القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر قد تلقى بذات الوقت ، وبخلال القرن التاسع عشر بنيتة النهائية كما توفرت له الظروف التي تقتضي منه تجاوز نفسه . ومن المفيد ان نلاحظ من خلال هذا المثل الرائع ان العلم ، وهو وليد الانسان ، لا يتجاوز من قوانين الحياة الكبرى .

الفصل الثاني

استكشاف الكون الكواكبي

في الحقبة التي بدا فيها - خطأ بالطبع - ان النظام الشمسي قد قدم كل اسراره وحيث المواضيع ، مواضيع الحوث المطروحة منذ آلاف السنين قد استنفدت من الناحية العملية ، بدا تزايد قوة الآلات وكأنه الوسيلة الوحيدة من أجل توسيع الاستكشافات بحيث تشمل مجالاً جديداً هو مجال الكواكب . وسرعان ما قدم التقدم في الفيزياء المعداني معلوماتٍ من نوع جديد وأدى الى قيام علم الفلك الفيزيائي . ان الدراسة المنهجية للعالم الكواكبي اصبحت ممكنة ، انها طريق جديد في البحث شكل العنصر الاصيل في الأعمال الفلكية بخلال القرن التاسع عشر .

وكان لا بد من انتظار القرن العشرين حتى تستطيع الفيزياء النظرية تفسير الظواهرات النجمية الفيزيائية ثم إجراء توليف المراجع الحاصلة . وإذا في مجال علم الفلك الموقعي (المسافة بين النجوم ، حركة الشمس) تم الميكانيك السماوي (الكواكب الجديدة والمرافقات غير المرئية) في هذه المجالات حصلت النتائج الأكثر بروزاً .

وشرع علماء الفلك بعد ان سقوا بحكم الضرورة غيرهم من العلماء في المجالات الأخرى ، في تنظيم انفسهم . ان « المجلة الدورية » Monatische correspondenz ، التي نشرها فون زاش Zach (بعد 1800) ، بدت انها اولى المجالات الدورية العلمية المتخصصة . وتكونت الجمعيات ومنها في سنة (1820) الجمعية الفلكية ، Astronomical Society وفي سنة (1863) «جمعية علم الفلك الكواكبي » Astronomische Gesellschaft التي ارتدت صفة دولية . وفي سنة (1871) تأسست الجمعية الفلكية الإيطالية « Societa degli Spettroscopisti » .

وغيرها من الجمعيات الأخرى . ولم تكن المشروعات الدولية وليدة الساعة . ولكنها أخذت ترتدي الآن ضخامة جديدة وتقوم مهمات دائمة .

وتكاثرت المراسد في نصف الكرة الشمالي بشكل خاص مع الأسف . ولا يمكن هنا ذكر أشهرها نظراً لكثرتها . إنما نذكر ثلاثة من أشهرها مع ذكر أسماء مدرائها الأولين : مرصد هارفارد في كمبريدج في الولايات المتحدة سنة (1839) ومديره . و . ش . بوند W . C . Bond ؛ ومرصد بولكوفو Paul kovo سنة (1839) ومديره ف . و . ستروف F . W . Struve ؛ ومرصد الكاب الملكي وقد أعيد تجهيزه سنة (1831) على يد ت . هندرسون T . Henderson .

والصفحات التي تقي لا توفي تماماً بغرض ذكر مجمل البحوث التي جرت . وحدها الأعمال التي تعطي فكرة عن مراحل سير التقدم ، قد دُوِّنت هنا . ولكن هذه الأعمال لم تكن دائماً هي الأعمال التي تسترعي انتباه الجمهور .

I - المعدات الكبرى

من السهل نسبياً بناء عدسات صغيرة تعطي صوراً ممتازة رغم وجود علم بصريات غير متقدم ، شرط جمعها ضمن عُيُنِيَّات Oculaires ذات قوة ضعيفة . وتوسيع فتحة النواظر يطرح نوعين من المسائل : الحصول على صحنون كبيرة من الزجاج المناسب ، ثم تخفيض الزيفان الجيومترى (والذي تزداد كميته بازدياد مكعب الفتحة) ، إلى حدٍ مقبول . وبانتظار التقدم البطيء الذي سوف يحصل ، اكتفى علماء الفلك لمدة طويلة باستعمال العدسات ذات الفتحة الصغيرة من أجل الاكتشاف الكمي لمجال غير متناهٍ .

التلسكوبات الأولى : إن مبدأ التلسكوب (أو العاكس) ، قد وُضِعَ منذ أيام غاليلي Galilée وفكرة المعدات الثلاثة أصبحت كلاسيكية وتعود إلى منتصف القرن السابع عشر . واقتراح غريغوري Gregory في سنة (1663) استعمال المرآة البارابولية أو البيضاوية المفرغة من وسطها كشبيحة (Objec - tif) ، كما اقترح استعمال مرآة مقعرة ذات سطح اهليلجي الشكل تعيد ضَمَّةَ النور . أما العينية فتوضع وراء المهداف (Objectif) . ولكن نيوتن ابتكر جهازاً أبسط بالنسبة إلى النموذج الذي بناه سنة (1668) ، وبه تُقاد الضمة جانبياً بواسطة مرآة مسطحة منحنية موضوعة على مسافة قريبة من بؤرة الشبيحية (Objectif) .

وفي سنة (1672) قدم نيوتن للجمهور تيلسكوباً من نوعية جيدة هو أول عاكس قابل للاستخدام . وكانت فتحة الناظر فيه تساوي 25 سم أما المسافة البؤرية فكانت 16 سم . وقد صُنع بيده . وبعد عدة تجارب اعتمد كمادة للمرآة مزيجاً من النحاس والقصدير مضافاً إليه الزرنيخ فحصل على نوع من البرونز الأبيض سوف يستعمل فيما بعد بصورة منهجية . وقد توصل إلى الاهتمام إلى ابتكار تقنية الجليّ مستخدماً مادة القار (La poix) بشكل خاص .

وُضِعَ أول تلسكوب غريغوري بعد سنة 1674 من قبل هوك . ولكن عملية الجلي هي عملية دقيقة . وكان أول من حققها فعلاً بعد نيوتن هو هادلي Hadley ابتداءً من سنة 1720 . وقام هادلي أيضاً بتجارب حول اعطاء الشبيحات (Objectifs) شكلاً اهليلجياً : في حين كانت الشبيحات الأولى ذات سطح كروي . وكان الزيفان الناتج عن الكروية مقبولاً ما دامت فتحة الشبيحة صغيرة .

وبعد ذلك صنعت تلسكوبات عديدة وخاصة في انكلترا . وكان اكبرها ذا قطر يبلغ اربعين سم ، ولكنها لم تكن ذات تفوق حقيقي على العاكسات المستعملة ، في حين كان سعرها مرتفعاً (حوالى الف استرلينية) . ومن جهة أخرى فضل المشتغلون بالبطريات يومئذٍ ، على البرونز الأبيض المعروف ، برونزا أغنى بالنحاس سريع البَهْتَانِ ويتطلب عناية منتظمة . وكانوا يومئذٍ يقومون باعادة التلميع الطويل والمكلف في حين كان بإمكانهم الاكتفاء بتنظيف بسيط بالكحول وغبار الطباشير . وبقي الفلكيون المحترفون ، محدودي الموارد المالية بصورة دائمة ، امناء للعاكسات القديمة .

وليم هرشل **William Herschel** : عندما تحقق وليم هرشل (1738 - 1822) الراغب بالحصول على تلسكوب ، ان ما لديه من مال لا يسمح له بشراؤه ، فكر بصنع واحد بنفسه وكان النموذج النيوتني الذي اخترعه ، في سنة 1774 مع المرايا التي صقلها ، آلة ممتازة . وبعد 1778 كان يحوزته آلة طولها 7 أقدام (ما يقارب مترين ، أما الفتحة فكان طولها 15 سنتم) تتجاوز ليس فقط العاكسات الموجودة يومئذٍ بل ايضاً ولأول مرة الكاسرات (réfracteurs) . وبعد ما اخذ يتفحص السماء بصورة منهجية وبذات الوقت اخذ يبني آلات أكثر فأكثر قوة . وسرعان ما اشتهر كمنظاراتي ، ومول ابحاثه بالمكاسب التي حققها من بيع ادواته .

وفصلاً عن المرصد « ذي السبعة أقدام » ، الذي بواسطته حقق اكتشاف الكوكب اورانوس سنة 1781 ، كانت أشهر معداته ذات طول يبلغ 20 قدماً (أي ستة أمتار والفتحة 48 سنتم) ودخلت في الخدمة بصورة مستمرة ابتداء من 1783 . وبعد ذلك بنى المرصد الكبير وطوله أربعون قدماً (12 م وفتحة 122 سنتم) . ولم يكن المرصد الأخير يتمتع بميزات المراصد السابقة كما أن حرارته المرتفعة كانت تجعله غير قابل للاستعمال في أكثر الأحيان . ولكن المرصد ذا العشرين قدماً والمستعمل بدون مرآة ثانوية (مع انحناء قليل في محور المرآة بالنسبة إلى الأنبوب ، مما يتيح العكس المباشر لضمة الضوء فوق سقار مثبت في الأنبوب) يعطي صوراً دقيقة للغاية ويسمح باستكشاف السماء إلى حدود الكواكب ذات الضخامة من الدرجة 14 . وإذا كانت مشاريع و. هرشل قد تكللت بالنجاح ، فذلك أنه كان يتم ، رغم آلاف الساعات المخصصة لجلي المرايا ، بدراسة معمقة لكل من المسائل الجديدة التي تطرح نفسها عليه . وبدا كطليعي في مختلف المجالات ، من ذلك أنه درس حلقات الزيفان . وإذا كانت نظرية الزيفان لم تنم إلا فيما بعد (من قبل آري Airy في سنة 1834 وشوارد 1835 Schwed) إلا أنه - أي هرشل - استمد منها التعليم الأساسي : قطر الصحن المركزي يتغير عكسياً مع قطر الشبيجة ، ومن جهة أخرى حدد نزولاً تباعد الصورتين القابلتين للفصل . وبالتالي فقد حسن رؤية تفصيلات الصور (ملاحظة ورصد السطوح الكوكبية ، ثم تفكيك المجرات إلى كتل من النجوم ، الخ) ، وعرف أن كل ذلك مرتبط إذا بتزايد قطر الشبيجة ، هذا مع وضع مسألة الانارة جانباً . ودخلت الدراسة العقلانية للجهاز الأكثر ملاءمة لتأمين إنتاجية ابصارية حسنة ، مع قياسات عوامل انعكاس المرايا وعوامل نقل العدسات .

التلسكوبات الحديثة : إن العامل الأكثر أهمية في مرصد كبير هو بالدرجة الأولى الجهاز الذي يؤمن عدم تشوه المرآة . ومن غير المفيد انجاز سطح بصري دقيق إذا لم يستمر ثابتاً أثناء عمليات

الرصد ، والتشوهات البالغة ربع طول الموجة ، أي جزء من ألف من الملم تبدو مضرة . ودخل عن طريق التلسكوبات التي بناها لورد روس Rosse (وليم بارسون W.Parsons) نظام ميكانيكي يحمل المرأة بشكل غلدة ، موزعاً الاندفاعات بشكل ملائم معها كان اتجاه التصويب .

ولم يكن بالإمكان يومئذ تخفيف المفاعيل الحرارية بشكل ملائم . إن الآلة الكبرى ذات الفتحة 182 سنتم وذات 17 م طولاً ، والتي وضعت في الخدمة سنة 1845 ، والتي اعتبرت يومئذ أكبر عاكس وجد حتى سنة تفكيكه في العام 1908 ، لم تعط النتائج المأمولة . ولكنها مكنت من اكتشاف سدائم حلزونية عُرف منها 14 منذ سنة 1850 . إن قسوة الزجاج وضعف طاقته على التمدد هما العاملان الرئيسيان في التقدم الحاصل من جراء استبدال الزجاج الفضي ووضعه مكان الرونزي في المرايا . فضلاً عن ذلك لقد زادت القدرة العاكسة كما أن عملية عدم الاضرار بشكل السطح قد تحققت وذلك عن طريق إعادة التفضيض الأمر الذي اغنى عن إعادة الجلي . ويعود تاريخ تقنية التفضيض إلى سنة 1851 . وسوف تطبق في علم الفلك سنة 1856 ، وبأن واحد في باريس من قبل فوكولت Foucault وفي ميونخ من قبل ستهيل Steinhil . وارتدى التلسكوب بصورة تدريجية مظهره الحالي . ويعود الفضل في ابتكار البرميل الذي يخفف من الانحناءات إلى و. لاسيل W.Lassel الذي ادخل أيضاً في سنة 1840 الحاملة الاستوائية أو الحاضنة وبذات الوقت مكن التتبع الأوتوماتيكي تتبع حركة النهار وكان هذا التجهيز الأخير قد أدخل على الكاسرات بعد أن انجزه فرونهر Fraunhofer من أجل مرصده الاستوائي في دوربات Dorpat سنة 1824 وكان ج. د. كاسيني J.D.Cassini قد استعمله لمدة طويلة من قبل إنما لتوجيه شبيحة منظار بدون انبوب .

النظارات : لقد توقف تقدم الكاسرات منذ انشاء الشبيحات الأولى الاكروماتية [التي تنفذ الضوء بدون تحليله] ، وذلك بفضل استحالة العثور على عدسات من الفلات (زجاج من الظُران) من النوعية الجيدة تتجاوز قطرها 10 سنتم . وإلى الحرفي السويسري بيار لويس غينان P L. Guinand ، يعود الفضل في ابتكار الوسيلة التي تؤمن تناسق عجيبة الزجاج خلال عمليات التبريد . وإلى تلميذه فرونهورف يعود الفضل في إيجاد الاستوائي ذي 24 سنتم والذي أقيم في دوربات (تارتو Tartu اليوم) في استونيا ، سنة 1824 ببناء لطلب ف. و. ستروف F.W.Struve . واشتهرت الآلة بالمبشحياتها من قيمة نظراً لحسن تصويبها بفضل الأعمال التي أتاهاها وبفضل ما أتاهاها من نهضة وبعث في علم البصريات النحوية .

وبعد ما أخذت تبنى الكاسرات ذات الأحجام المتزايدة . وكانت الشبيحات في الكاسرات تؤخذ من صحنون كان يصبها غينان Guinand . وقام ابن هذا الأخير بتأسيس معمل للزجاج في باريس ما يزال قائماً اليوم (بارا - مانتوا) Parra - Mantoie . ومن هذا المعمل تخرج الصحنون اللازمة للشبيحات الضخمة التي يفضلها النظاراتي الأميركي ألان كلارك Alvan Clark ، وبصورة خاصة شبيحات المرصد الاستوائية في بولكوفو Poulkovo (76 سنتم في سنة 1885) ومرصد ليك Lick (91 سنتم سنة 1888) ومرصد يركس Yerkes (102 سنتم سنة 1897) .

وكانت الكاسرات دائماً مسبوقةً بالعاكسات من حيث امكانيات توسيع المجال السماوي المدرك .

أما أجهزة مخصصة للاسترومتريا astrométrie البصرية أو الفوتوغرافية من حيث أنها تحتوي على جهاز ارتجاعي آلي يحدد وعلى قطعة بصرية واحدة تنزل فوق الصمّة وتعمل عن طريق الانكسار . ويكفي فيها إعطاؤها ضخامة معتدلة . أما العدسات الكبيرة جداً فقد وجدت بفعل الدفعة الأساسية لا بحكم الضرورة .

II - التقنيات الجديدة

مع تقدم الفيزياء التجريبية وسّع عالم الفلك شكل ضخّم حقل استقصائه . فقد أصبح بإمكانه أن يحلل وأن يزيّن الإشعاع المنبثق عن الكواكب ، التي كان في الماضي يكتفي منها بتتبع منازلها . واستبدال التسجيل ، بدلاً من المراقبة المباشرة ، كان له من جهة أخرى تأثير على مناهج العمل ، وفرض ، بصورة تدريجية ، الانضباط العلمي الذي وسم بشكل عام البحوث الحديثة .

التحليل الطيفي : في سنة 1802 ، وبعد تلقي طيف زرحة ضوئية شمسية ، فوق لوحة ، من خلال شق ، لاحظ و. هـ. ولاستون W.H. Wollaston على هذه اللوحة سبعة خطوط قاتمة ، ذات مواقع نسبية محددة تماماً . ومن خلال نظارات موضوعة وراء مشطور ، استطاع « فرونهورفر » Fraunhofer أن يقوم سنة 1814 بتحليل أكثر دقة للظاهرة ، كما لاحظ وجود مئات الخطوط . واهتم بالقدرة التوزيعية في مختلف الزحاجات ، فرأى فرونهورفر في هذه الخطوط معالم دقيقة من لقياسات . واكتشف الموقع السبي لكل منها ، ثم وضع أول خارطة للطيف الشمسي . وما زالت حدوده التي حددها للخطوط الخمسة الأكثر زخماً مقبولة . وفي ما يخص الخط D ، الرابع باتجاه التورعات المتصاعدة ، لاحظ التطابق مع خط براق ضمن طيف صادر عن لبة من الصوديوم .

وهذا التطابق لم يكن عفواً . فقد بين فوكولت Foucault ، سنة 1849 ، أن الخط D من الطيف الشمسي يكون قوياً إذا اجتاز النور قوساً كهربائياً من الصوديوم . إن خاصية الامتصاص من قبل وسط إرسالي قد تقرر شرط أن يكون طول الموجة والوسط خاصين فقط . وكشفت التجارب التي قام بها بوسن Bunsen وكيرشوف Kirchhoff في هيلدبرغ العنصر الأكثر أهمية في هذه الظاهرة وهو : عند وضع شععة من لبة الصوديوم لتقطع الشعاع النازل ، يلاحظ في مكان الخط D خطاً قاتماً (امتصاصياً) أو برافاً (إرسالياً) وذلك بحسب ما تكون درجة حرارة الشعلة متدنية أو مرتفعة . لقد تم العثور على مصدر أشعة الطيف الشمسي : عطاء فضائي أقل حرارة من سطح الارسلات يمتص الاشعاعات التي تميز العناصر التي يتألف منها هذا الغلاف ، ومن بين هذه العناصر يقع الصوديوم بشكل خاص .

ويمكن بالتالي تحديد تاريخ ولادة « الاستروفيزياء » في 27 تشرين أول سنة 1859 ، وهو يوم أعلن فيه كيرشوف أمام اكاديمية برلين مداخلته الشهيرة . ولكن الحدث تجاوز الى حد بعيد اطار علم الفلك « الاستروبوميا » . فقد ترجم [أي الحدث] أول ظهور معروف لدور الظروف الخارجية (ها درجة الحرارة) في النية الداخلية للعنصر . وبهذا المعنى فتح عصر الفيزياء النظرية وبالتالي عصر العلم الحديث . واناخ هذا الحدث معرفة وجود عدد من العناصر المعروفة فوق سطح الأرض ، في الشمس ثم في بقية الأجسام السماوية ، مما يدل على الصفة الشمولية للكواكب كما يدل

على شمولية القوانين التي تحكم هذه الأجرام .

وإذا كان من المؤكد تماماً أن الإلهام الذي تمتع به نيوتن عندما اكتشف قانون الجاذبية الكونية ، لا يقاس به الإلهام من أجل الاعلان عن قانون كيرشوف ، فإنه بالإمكان التأكيد على أن أهمية هذا القانون تعتبر غالباً ، سواء من وجهة النظر العلمية أم من وجهة النظر الفلسفية إن الاهتمام الذي تركز بعد ذلك على التحليل الطيفي أدى إلى نمو سريع فيما يسمى « بالسبكتروميتري » التي تهتم بمَعْيَرَة الأطياف ثم « السبكتروسكوبي » الفلكية .

ومن أجل الحصول على طيف عادي أي ممتد بشكل يتناسب مع أطوال الموجات ، استُبدِلَ مفعولُ التشتت الموشوري « البريسي » بمفعول تشعب الشبكة الضوئية Réseau ، وهي لوحة شفافة أو عاكسة تحمل مقاسات دقيقة ومنظمة . وهذه الأداة يعود الفضل فيها إلى « فروهنوفر » الذي قاس هكذا أطوال موجة الشق المزدوج D ، بعيد 1821 . وعرف ل. م. روزر فورّد L.M.Rutherford عاجلاً كيف يرسم شبكات متلاصقة حداثاً تتضمن 8 آلاف خط ضمن السنتيمتر الواحد . أما هـ. آ. رولاند Rowland فقد أوجد الشبكة الموضوعية ، وحفر مباشرة الشبكة فوق شريحة نلسكروب صغيرة . و أعطى ابتداء من سنة 1895 أطوال موجة 20 ألف خط في الطيف الشمسي .

يمكن لعلم الأطياف (سبكتروسكوبي) الفلكية أن يعمل بواسطة السبكتروسكوب الكلاسيكي ذي الشق . ومن السهل تمرير حزمة غيّرة ، منبثقة عن مصدر ضوئي مرجع (شعلة ، وفي ما بعد شرارة) ، إن المشطور الشبحي هو أكثر ضوءاً ، ولكنه يعطي عن البجوم ظلالاً خيطية الشكل ، باعتبار أن القطر الطاهر للشيء معدوم . ولتوسيع الظل ، كانوا يستعملون في ذلك الزمن عدسة اسطوانية ، كما فعل فروهنوفر . والكشف المفصل لظل نجمي بصري قد يتطلب مئات الساعات من الرصد ، وهذا يعطي فكرة عن ضخامة العمل الذي قام به مستعملو السبكتروسكوب . وهذا العمل استمر ويتابع حتى سنة 1880 .

إن التسجيل الفوتوغرافي للظلال أو ما يسمى « بالسبكتروغرافيا » سرعان ما ساعد على تخفيض وقت الأرصاد الفلكية بحيث تقتصر على مدة حلقة ، وفضلاً عن ذلك مكن التسجيل من التعرف على الظل فوق البنفسجي . وبعد 1875 ، حصل هوجينز Huggins على نتائج مرضية بواسطة آلة كان منظارها أو باصرها من الكوارتز ومشطورها من حجر السباث (Spath) ، وهما حجران قلياً يتصان الأشعة التي توتر في الصفائح « البلاكات » . واستخدام المشطور الشحي يتيح تصوير أطياف كل الكواكب في حقل معين بآبٍ واحد . وقد جعل استعمال هذا المشطور بالإمكان وضع « كاتالوغ » عام من الأطياف الفلكية قام به أ. ش. بيكرنج E.C.Pickering ابتداءً من سنة 1885 .

إن السبكتروسكوبيا النظرية البصرية قلما تحضّم لدراسة مفعول دوبلر - فيزو Doppler ، أو الفرق بين الخطوط الذي تسبب به الحركة المركزية المتعلقة بالمصدر . إلا أن هوجينز قد توصل في سنة 1868 إلى إثبات تنقل سيريويس « Sirius » بمعدل 2 على 10 آلاف من المساحة التي يحتلها الطيف الضوئي معرّاً عن سرعة مركزية قريبة من 50 كلم في الثانية . وقد استعمل سبكتروسكوب ذا شق كثير التشتت ، يتضمن لا أقل من 13 موشوراً . ولكن النتائج كانت نادرة ونافهة . وهنا قلعت

السبكتروغرافيا تطويراً حاسماً جداً .

الفوتومتريا : إن مبادئ التعريف ودراسة لمعة مصدر ضوئي قد وضعها بوغر Bouguer وأعماله حول « تدرج الضوء » المنشورة سنة 1729 و 1760 جعلت منه شيخ الفوتومتريا .

وكان لا بد من اتخاذ تدابير نسبية ، وذلك بتنوع - وفقاً لقانون معين - الدفق الضوئي الصادر عن مصدر شاهد طبيعي أو اصطناعي ، بشكل يعادله (في القيمة المطلقة أو في الزخم) مع الدفق الصادر عن الشيء المدروس . وأول جهاز مستخدم لغايات فلكية كان ، على ما يبدو الجهاز الذي وضعه ج. هرشل J.Herschel في مدينة الكاب سنة 1836 : فقد استعمل « كمصدر - شاهد » الجزء من الإشعاع الصادر عن القمر ، والمقول بفضل مؤشر ذي انعكاس كامل ، ويكون الدفق الضوئي خاضعاً للتعبير بحسب الإزاحة ، لأنه يتغير وفقاً لعكس مربع مسافة المشرق . وهكذا تيسر ضم لمعان مئة وإحدى وتسعين نجمة ، بعضها إلى بعض ، بحيث تم تشكيل أول سلم فوتومتري كواكبي .

وقد اتاح فوتومتر ستنبيل - الذي يعود تاريخه إلى نفس الحقبة - ، المقارنة المباشرة بين صور نجمتين كان مشطوران مستقلان يوجهان ضوءهما نحو الجهاز . وقد تم البحث عن معادلة زخم الصور خارج البؤرة والتي تقدمها شحبتان يمكن تحريكهما فوق محور . وهذا المبدأ كان تافهاً . ومع ذلك استنتج ستنبيل منه ومن مقياسه القانون الفوتومتري الذي يحمل اسم فكنر Fechner . إن مبدأ الانطفاء الأقدم ، وبوجبه تطفأ الصورة بادخال حاجز زجاجي تمتص ومعبر سابقاً ، ليس افضل . ولا يؤتى هنا على ذكره إلا من أجل الاستعمال الزاخم الذي طبقه بشأنه بريشار Pritchard من سنة 1881 إلى سنة 1885 .

إنه باستعمال الانقاص استطاعت الفوتومتريا الفلكية أن تنمو وتتطور . وإدخال بلورتين (نيكول ، nicols) ثانيتهما قابلة للتوجيه بخفض الدفق الضوئي ضمن نسبة قابلة للتغيير يقدمها قانون مالوس (1811) . ويمكن أيضاً استبدال البلورة الأولى بشحنت مزدوج للضوء عادي ، ثم اجراء المقارنة المباشرة بين دفتين ضوئيتين نازلتين وذلك بقياس زاوية وضعين للبلورة القابلة للتوجيه ومن شأن هذين أن يعادلا الزخم في الصور .

والثاني من هذه الأجهزة ، المسبوق بشحبة واحدة يطبق على مقارنة النجوم المتقاربة جداً . إنه أول فوتومتر لأراغو (1850) . وبواسطة شحبتين ، قارن أ. ش. بيكينغ E.C.Pickering بين نجمتين هاجريتين مختلفتي الارتفاعات . وشكلت التحديدات المحققة ابتداءً من 1879 بواسطة هذه الفوتومترات الهاجرية ، وما تزال القسم الأساسي من معارفنا حول الضخامة الكواكبية المرئية .

وأول هذين الجهازين من الفوتومترات ذوات المستقطبات هو ذو استعمال اعم : فهو يتيح فقط تخصيص ضوء منبعث من مصدر احتياطي رديف ، وبالتالي فهو يعالج النجوم الضعيفة جداً أو الدراسة المحلية لاختلاف مناطق الطيف . وصورة نجمة اصطناعية تدخل بعد استقطاب مزدوج بشكل صورة دقيقة ، ضمن السطح البؤري من شحبة نظارة عادية . ذلك هو التركيب الذي حققه زولنر Zöllner حوالي 1860 ، والذي أصبح نموذج الفوتومتر الأكثر استعمالاً .

وتقوم الطريقة الفوتوغرافية على تقدير زخم الدفق الضوئي المستقبل من نجمة سندا لحجم الصورة الفوتوغرافية. لقد اقترح و.ك. بوند W.C.Bond الطريقة الفوتوغرافية بعد أن درس تأثير الوقت الاستراحي على هذا الحجم، بعد 1858. واستخدامها يجب أن يتم بعد استئاق بحوث طويلة، تتعلق، من جملة عناصر أخرى باختيار البلاكات والشحنيات. والدراسات التي قام بها بيكرينغ ابتداءً من سنة 1882 قادته إلى فصل فكرة الضخامة البصرية عن الضخامة الفوتوغرافية، وهو تمييز رئيسي لأنه قاده إلى تحديد درجات الحرارة الكوكبية. وليس إلا في بداية القرن العشرين أتاح استعمال البلاكات «الأوتوكروماتية» (ذات المجال الحساس كالذي للعين) أتاح تطوير ونمو الفوتومترية التصويرية، المعادلة للفوتومترية الأكثر سهولة استعمال منها.

قياس الاشعاع الحراري «الكالوريقي» : إن قياس الزخم الكالوريقي قد امكّن أن يتم بنوع من الدقة بعد أن كشف سيببك في سنة 1821 المفعول الحراري الكهربائي : ينطلق تيار كهربائي في حلقة مختلفة النوعية وذلك عندما ترفع الروابط التي تصل بين مختلف الموصلات إلى درجات من الحرارة متنوعة. إن «البطارية الحرارية» «الترمويل» التي صنعها ميلوني Melloni تتصم سلسلة من العناصر الحرارية (البسموت والانتيمون)، التي يظهر لحمها بالتناوب على سطحي الجهاز، إن أحد الوجوه، المسود قد تعرض للاشعاعات. وفي سنة 1843 أوصلت الدراسة المفصلة للظيف الشسي ميلوني إلى التأكيد أن التشعيع، والتشعيع الحراري «الكالوريقي» هما مظهران لذات الظاهرة، وذلك خلافاً للأفكار المضللة التي سبى أن شاعت منذ أن اكتشف و. هرشل في سنة 1800 الاشعاع تحت الأحمر. إن خاصية المقاومة في المعادن تختلف تبعاً لدرجة الحرارة. وعلى هذا قام مبدأ «بولومتر» لانجلي Langley 1880 الحساس الذي يسجل فرق درجة حرارة من معيار مئة جزء من أصل ألف جزء من الدرجة. هذا الجهاز تفوق لمدة من الزمن على الترموميترات الأخرى، ومكّن لانجلي من اكتشاف ومن دراسة الخيوط وضمايم امتصاص ما تحت الأحمر.

إن تلقي الاشعاع الكواكبي الضعيف جداً هو رائص من رائص الحساسية. وقد مكنت منه «العناصر الحرارية» بعد سنة 1868، فقد استطاع هونغز اكتشاف بل وقياس اشعاع بعض النجوم البارقة. وبعدها أدى إليه أيضاً معمولان فيزيائيان، تبين فيما بعد شدة حساسيتها: ففي سنة 1895 ظهر المفعول التصويري الكهربائي (تسجيلات ج.م. منشين G.M.Minchin، بواسطة خلية من السيلينيوم) وفي سنة 1898 ظهر ضغط الاشعاع (راديو متر نيكولس).

الفوتوغرافيا: لم تقدم «الداغريوتيبيا» التصوير الداغري، التي يعود تاريخها إلى سنة 1839 أية مساهمة لعلم الفلك، ولكنها أتاحت الحصول على مستندات مفيدة. من التسجيلات الأولى ربما كان التسجيل الذي قام به ج.و. درابر J.W.Draper للقمر سنة 1840. وفي سنة 1845 أخذ فوكولت وفيزو Fizeau صورة داغرية للشمس. وبدأ عهد «الفوتوغرافيا» سنة 1850، مع استعمال البلاكات المغطاة بمزيج رطب من الكولوديون collodion وهو أسلوب حساس نسبياً ويقدم سروفات يمكن إعادة إنتاجها.

ومنذ 1853، في لندن حصل وارن دي لارو Warren de la Rue على صور ممتازة للقمر في بؤرة

تلسكوب بناءه بنفسه وأداره باليد . إن مسألة التوجيه الدقيق لم تطرح بالنسبة إلى الشمس ، ذلك أن العرص قصير جداً ، وكان على الفوتوغرافيا الفلكية أن تتطور إلى الأحسن في هذا المجال . وبهذا الشأن انحر دي لا رو ، في سنة 1857 « فوتوهيلوغراف » ، وهو منظار مزود بشريحة من عيار 9 سنتم مصحح من الظلال بالنسبة إلى الأشعة المؤثرة في البلاكات أي اللون البنفسجي . وركبت هذه الآلة في سنة 1861 في المرصد المسمى « رويال استرونوميكال سوسيتي » ، في كيو Kew فأتاح الحصول على سلسلة طويلة من « الكليشيات » ، مكنت من البدء بمراقبة الشمس مراقبة منتظمة . وهكذا بدأ المشروع الأول العلمي المتميز بالدعمومة .

وأدى استعمال اللدائن الجصافة من « جيلاتيو برومور » الفضة ، المحققة فيما بين 1871 و 1879 ، وهي أكثر حساسية وأقل تعرضاً للتشويه الاعتراضي من طبقات الكولوديون الرطب ، إلى بدء عهد الفوتوغرافيا الحديثة . وبمدها أصبحت كل التطبيقات ممكنة : فوتوغرافيا النجوم والأشياء الضعيفة أو المنشرة ، تسجيلات الأطياف ، وقياس دقيق لانحرافات الروية عن طريق الكشوفات الميكرومتريّة فوق الكليشيات . وقد دونت كل التقديرات التي حققتها الفوتوغرافيا هـا . إن القيادة الميكانيكية « للاستوائي » تتطلب ، دائماً ، المراقبة . إن جهاز القيادة والتوجيه ، مع الشروط الخاصة المفروضة على باصرة الشبكية ، هو ما يميز آلة مخصصة للفوتوغرافيا . ويتم الأمر ، بتذكيرات مناسبة من أجل المحافظة على صورة نعمة ما ، فوق تصالب خيطين . وفي التيليسكوبات ، يمكن اختيار هذه الصورة مباشرة ضمن حقل الشبكية ، وهناك معايير أو مبصار ملتصق بالشاشي الحاملة للبلاكات والمركزة إلى جانب هذا المبصار الذي تتم بالنسبة إليه التصحيحات . ذلك هو الجهاز الذي صممه كومون Common الذي حصل مند 1882 بواسطة تيلسكوبه من عيار 90 سنتم ، على فوتوغرافيا ممتازة لسديم « وريون Orion » ، وفي النظارات عندما تضبط الشبكية حاصة لأطوال الموجات فمن الضروري اعداد مطار منفصل ذي شريحة بصرية ملتصقة بالمنظار الأول . وهذا الجهاز هو الأكثر ملاءمة لتصوير النجوم . وقد اعتمده الأخوان هنري في سنة 1885 في استوائهم الفوتوغرافي من عيار 33 سنتم . وبمدها رودت هذا الجهاز النسخ الثماني عشرة ، والتي وضعت في تصرف مشروع «خارطة السماء» .

تقدم التقنيات الكلاسيكية : لم تتقدم التقنيات الكلاسيكية فيها يتعلق بعلم الفلك إلا تقدماً طيئاً . فالمنظار الهاجري لرصد الممرات ، والذي بُني أخيراً بالشكل الذي تصوره رومر Roemer ، والدائرة الماحرية ، مجعاً في جهاز واحد . إن ج . بوند J.Pond وهو فلكي ملكي ، وخليفته آري Aryn وبصورة خاصة بيسل Bessel ، سوف يوضحون الشروط العقلانية في استعمال الآلة الماحرية : تحديد الثوابت الآلية ، وتتبع العامودي بمراقبة النظر (السمّت) أي بالتصويب الاوتوماتيكي فوق سطح مجمع من الزئبق ، مع الأخذ بالاعتبار اخطاء ترقيم درجات الدوائر المقسومة . وبواسطة هذه الطرق ، وتحسين قيم الثوابت الفلكية تضاعفت دقة قياسات الميل عبر القرن وحفض الخطأ الوسطي إلى ثلاثين جزء من الثانية (1/30) تقريباً . وبالنسبة إلى الصعود المستقيم حصل تقدم اساسي بفضل « الميكرومتر » غير الشخصي . فقد نَبَّ بيسل سنة 1823 أن رصد لحظة المرور بالنسبة إلى نعمة ما وراء

خيط ، متقوساً بمعدل فردي شخصي ، هو الخطأ في التقدير العائد لكل راصد ، وهو خطأ منهجي إلا أنه غير ثابت .

ويتضمن الميكرومتر اللاشخصي - وفكرته ليست أصيلة ، إلا أنه لم يوضع بشكل صحيح إلا من قبل ج. ريسبولد Respsold سنة 1889 - يتضمن خيطاً متحركاً بواسطته يتتبع الراصد تنقل الكوكب . وهناك تسجيلات للزمن معكومة بنظام جر الخيط ، عندما يمر هذا الخيط في نقط موضوعة بشكل منتظم عن يمين وعن شمال خط الهاجرة . وهذا الجهاز خفض معدل ضخامة الأخطاء الصاعدة صعوداً مباشراً ورده إلى معدل الأخطاء المتنازلة . ونفوه هو من المكانة أنه ، في الدراسات الحديثة للحركات الخاصة ، لا يؤخذ في الاعتبار رسومات المصاعد المستقيمة الجارية بواسطة آلات غير مزودة بميكرومتر « لا شخصي » ، رغم الأهمية التي ترتديها القياسات المتباعدة بفترة طويلة من الزمن بالنسبة إلى هذا النوع من الدراسات .

لقد سهلت الكهرومغناطيسية بعض المسائل المتعلقة بالزمن . إن نقل الزمن - من أجل تحديد خطوط الطول بواسطة اشارات تنصت يدوية تنقل بواسطة التلغرافيا - قد أوحى به مورس Morse سنة 1839 ، وحققه الاميرال ويلكيس Wilkes ، في الولايات المتحدة ، بعد 1844 . إن مبدأ تضيق الرقاصات بفعل الالكتروميغناطيس فوق أرجوحة الرقاص المحكوم ، قد وضع في سنة 1847 من قبل فوكولت . « العدادات المسجلة » و « الكرونوغرافات » الأولى ، التي حققت تسجيل الزمن (ضربات رقاص ولحظات حدوث حدث) بواسطة التسجيل فوق اسطوانة أو فوق شريط بواسطة ابرة قلم معكومة بمغناطيس كهربائي ، يعود تاريخها إلى نفس الحقبة . وحل هذا الأسلوب بالنسبة إلى ارمصاد العبور ، محل الأسلوب المسمى « أسلوب العين والأذن » ولكنه لم يحسن بشكل واضح القياسات إلا عندما ضم إليه الميكرومتر غير الشخصي .

III - اورانومتريا أو « فن وصف السماء »

ارتبط تقدم العلوم بشكل حثيث بتقدم التعريف بقياس الوحدات . وعندما اتاحت معرفة الوقائع الجديدة كسب جزء عشري من الدقة التي يحسب بها معيار القياس ، اظهرت قياسات القيم المرتبطة بالوحدة المعادلة ، بدورها آثاراً جديدة . وهنا يبدو أحد مظاهر الرسمة العامة للتطور العلمي .

وبواسطة التواتر ، ويصورة خاصة تواتر الموجات الكهرومغناطيسية ، دخلت إحدى الكميات الاساسية ، وهي الزمن ، اليوم بشكل دائم في الحياة اليومية ، إما مباشرة أو بواسطة المحصولات المصنعة . إن العناصر الفلكية التي تستخدم في تحقيق المدرج الزمني وتعريف وحدته ، وهي الثانية ، بدت بالتالي عوامل مهمة في ظروف حياتنا ووجودنا . وهذه العاصر هي : « جداول الشمس والكواكب » وكذلك كاتالوغات الكواكب . وهنا يوجد موضوع للتأمل بالنسبة إلى العقول الغضة التي تعتقد امكانية الفصل بين البحث التطبيقي والعلم الخالص .

إن الأورانوميتري أو فن وصف السماء موضوعه تحديد مواقع النجوم نسبياً أي وضع كاتالوغات للكواكب .

كاتالوغات أساسية . مبادرة الاعتدالين - للنجوم حركات خاصة بها ذاتية . وكاتالوغ الكواكب الأساسية يشتمل على المواقع وعلى الحركات الخاصة (أي على الاحداثيات الاستوائية وعلى تغيراتها السنوية) لعدد صغير من الكواكب البراقة التي خضعت للعديد من القياسات المطلقة . إن اتجاه الاعتدالين يؤخذ كمطلق للاحداثيات أما عناصر الكاتالوغ فمرتبطة بالقيمة المعتمدة للحركة السنوية لحركة الاعتدالين أو ما يسمى بثابت تحرك الاعتدالين .

والقيمة الأولى الدقيقة « ثابت مبادرة الاعتدالين » تم الحصول عليها من قبل بيسل Bessel سنة 1815 ، بواسطة تحليل الحركات الذاتية الظاهرة (والتي تتضمن مفعل تنقل نظام الاستناد) في الكواكب المنسوبة إلى برادلي (يراجع المجلد الثاني) . أما أعمال بيسل اللاحقة (1818) وو. ستروف Struve (1842) الذي اهتم بحركة انتقال الشمس الى سمتها ، ثم عمل س. نيوكومب Newcomb (1898) ، هذه الأعمال جميعاً أتوصلت تبعاً إلى القيم التالية ، (التي يجب ارجاعها إلى سنة 1900) : $(50^{\circ}, 248; 50^{\circ}, 264, 50^{\circ}, 256)$ ، ويمكن تقدير أهمية هذه الفروقات من خلال وقعها في مدرج الزمن الذي يتمدد بمدة ثانية في السنة هذا إذا زيد الثابت بمعدل : $0''.04$. وتبقى القيمة الاصطلاحية المقبولة حالياً هي القيمة التي حددها نيوكومب .

إن الملاحظات الأساسية التي قام بها مسكيلين Maskelyne الذي تولى إدارة مرصد غرينتش بعد برادلي Bradley تناولت 36 نجمة .

أما الأرصاد التي نشرها بيازي Piazzi ، في باليرم Palermo في سنة 1806 فتناولت 220 نجمة . وحاول لوفيري Le Verner أن يدخل التطبيق العملي لهذا النهج في فرنسا ، ونظم الرصد المستمر لعدة مئات من النجوم على أساس من المبادئ لم تكتشف قيمتها إلا بعد ذلك بكثير ، ولكن وبصورة رئيسية تكونت النظم الأساسية على أساس الأرصاد التي جرت في غرينتش وفي بولكوفو .

وبتأثير جيد من بيسل توجه مرصد بولكوفو الذي تأسس في سنة 1833 ، نحو علم الفلك المواقعي ، من قبل مؤسسه ف.و. ستروف . ونشر الكاتالوغ الأول الأساسي لمرصد بولكوفو سنة 1868 من قبل و. ستروف ابن السابق والمدير الثاني للمرصد وتضمن هذا الكاتالوغ 336 نجماً . وتلاه الكثيرون حتى اليوم دون أن يتوقف العمل توفيقاً ملحوظاً . وتدل الأرصاد التي جرت في غرينتش ضمن روحية محافظة تقليدية ، على القليل من تنوع المناهج ، ولكنها تميزت في البداية بتفوق المعدات . فقد أمكن الاحتفاظ لمدة تزيد عن القرن بعمل الآلة الهاجرية التي وضعها سنة 1850 آري Airy الذي آمن وظائف الفلكيين الملكيين طيلة نصف قرن تقريباً .

والنظام الأساسي الأول المتماكب نسبياً هو نظام اشتمل على 539 نجماً ، صممه أويسرز Auwers سنة 1879 . وقد وُسع هذا النظام عدة مرات وحسن . وهو في أساس النظام الاصطلاحي الحالي وفي هذا النظام الأخير تأتي عناصر النجوم ذات الميل القوي نحو الجنوب ، من مرصد مدينة

الكتاب وبصورة خاصة من الأعمال التي تمت فيه بعد 1880 على يد دافيد جيل Gill .

المحارطات والكاتالوجات : في سنة 1824 تمّ ببسّل علناً وضع خرائط سماوية شبه كاملة من أجل السباح بالبحث ، بصورة سهلة عن أشياء جديدة . ولم يتم اكتشاف أي كوكب صغير منذ (1807) ولكن المحارطات التي وصعتها أكاديمية برلين ، أعيد تقويمها . وكانت تتضمن جردة بالمنطقة السمتية وفيها حوالي 40 ألف نجمة . وقد صحح موضوعها قبل نشرها كما سنرى بنسابة الكواكب الصغيرة وخاصة نبتون .

وقام ف. أرجيلندر Argelander ، مدير مرصد بون ، بعد ذلك بقليل بوضع مرجع مفهرس أكثر شمولاً وأكثر تنظيمياً . وبخلال سبع سنوات ، حقق مع معاونيه شونفلد Schönfeld وكروجر Kruger حوالي 1850 ألف رصد استوائي تماضي . أما كاتولوجات «بونر درش موست رنغ» أو (B. D) التي ظهر آخر عدد منها سنة (1862)، فقد تضمنت مواقع (بمعدل 1' تقريباً) وأبعاد 324 188 نجماً في الشمال من الدرجة (2° -) . وبدأ هذا الجدول كاملاً حتى المقدار (9.5) (وهو مقدار يتوافق بشكل محسوس مع الضخامة البصرية (10.5) بحيث أن الجدول المفهرس لـ B. D قد اعتمد بشكل عالمي .

ووسع الـ B.D فشمّل النجوم الجنوبية ، من قبل شونفلد أولاً فيما يتعلق بـ 133 ألف نجمة في الشمال من الدرجة 23° - (سُدليش دُرش ماسترينغ ، في سنة 1886) ثم شمل نجوماً أخرى في للرصد الأرجنتيني ، في مدينة قرطبة على يد طوم Thome (كوردوبا درش ماسترينغ) ابتداءً من 1881 . وبقيت هناك النجوم القطبية الجنوبية التي احتواها كاتالوغ فوتوغرافي وضعه كابتين Kapteyn سنداً للكليشيات التي وضعها في الكتاب الراصد جيل Gill (كات فوتوغرافيك درش ماسترينغ) . والدور الذي لعبته الدرش ماسترينغ ، بشكل خاص من أجل تحديد ماهية النجوم ، له أهمية ضخمة بتقدير التعب المقدم من أجل تنظيمها .

أما الكاتالوجات الأصغر والتي تعطي مواقع دقيقة ، والصادرة (باستثناء الأوائل منها) عن أرساد هاجرية ، فتتدرج بشكل غير متقطع ، وهي كثيرة لا تحصى . أن الكاتالوغ الذي يتضمن 7646 نجماً الذي بناه بيازي Piazzi سنداً لأرصاده في (1792 - 1813) هو أول كاتالوغ من نوعه ، أما الأرصاد السابقة والتي قام بها برادلي ولا لند فلم تصغر إلا فيما بعد (يراجع مجلد2 الفصل 3، القسم 3 أن الحركات الخاصة ليست هي الاستثناء ، كما يظن بل هي القاعدة . وتستحق كاتالوجات « استروبوميش جيسل شافت» أو (AG) إشارة خاصة نظراً لموضوعها وهي تغطية عمل الكواكب الشمالية ذات الضخامة دون التسع درجات . والمشروع هو من أفكار أرجيلندر Argelander ، سنة 1865 ، ووزع بين عدد كبير من المراصد بحيث شمل بعض النجوم الجنوبية ولم يتجزأ إلا في سنة 1913 . وقد اتاحت هذه الكاتالوجات التي هي ثمرة أعمال طويلة ، لعلم الفلك الأساسي أن يتطور ولعلم الفلك الكوكبي أن يتكون . ولكنها ذات دقة غير كافية للدراسات الحديثة ومن الواجب العودة إليها من جديد اليوم . من ذلك أن نجوم الكاتالوجات AG هي اليوم موضع إعادة رصد إنما على أساس مبدئ مختلف .

مشروع خارطة السماء : ما أن تمّ انجاز جدول النجوم من عيار 10 درجات حتى كان قد تمّ

رصد كواكب اصغر واصف . وإذا كان لا بد من توسيع هذا الجدول على الأقل في منطقة فلك المروج .

اشتغل برومبير Prosper وبول هنري في مرصد باريس من أجل وضع حرائط تشمل البعد الثالث عشر . وكانت مناطق طريق المجرة هي من الكثافة ، بحيث أن الكشوفات العميقة للنجوم بدت مستحيلة الصنع . وقد بدا العون الفوتوغرافي ضرورياً . كان الأخوة هنري صانعي نظارات في الأصل ، ولكنهم عرفوا كيف يحلون المشاكل المطروحة من أجل تطبيق الفوتوغرافيا على الأسترومتريا وخاصة مشكلة التوجيه . والأستروغراف الذي وضعوه في سنة 1885 هو استوائي مؤلف من منطارين متصامين : أحدهما فوتوغرافي له شحبة من عيار 33 ستم مصحح بالنسبة إلى الضوء المنسجي ويعطي كليشيات تغطي 4 درجات مرة ، والمظهر الآخر ذو فتحة أصغر وله نفس الطول ويستخدم للمراقبة البصرية عند السحب .

إن الإحارات التي حققها الجهاز حفرت الأميرال موشز Mouchez ، مدير مرصد باريس على تمديد فكرة أدلى بها د. جيل الذي كان يستكشف في الكاب ، حسنت الفوتوغرافيا من أجل تحقيق مسح « الدرش مسترنج » *durchmusterung* للنجوم القطبية الجنوبية واستدعى إلى باريس في سنة 1887 مؤثراً دولياً من أجل دراسة تنفيذ فوتوغرافي لخارطة عامة للسما . وارتضى ثمانية عشر مرصداً لمساهمة . وحلت نوعية الصور ، وانعدام تشقق الحقل على اختيار « أستروغراف » الأخوة هنري كمودج آلات الاستعمال . وكان من الواجب أخذ سلسلتين من الكليشيات : السلسلة الأولى من أجل حارطات بسيطة مكبرة للكليشيات تتضمن الدرجة 14 والسلسلة الأخرى من الكاتالوغات التي يجب أن تقدم المواقع والضخامة الفوتوغرافية للنجوم حتى الدرجة الحادية عشرة .

وكان المشروع ذا اتساع واسع ويستعمل تقنية حديثة جداً يصعب التحكم بها بسرعة . وكان لا بد من مرور نصف قرن من أجل إكمالها . ولكن نقصتها الاستجائية خاصة في المجال الفوتومتري . ولكن المستندات بقيت . ومواقع خمسة ملايين نجم موجودة في الكاتالوغات يمكن أن ترد إلى بضعة مئات الألوف من النجوم الضرورية من أجل تخفيض عدد الكليشيات . ومنذ ذلك الحين شكلت خارطات التي ثبتت حالة السماء في حقبة معينة ، وحتى في عدة حقب ، مصدراً لأرشيف في غاية القيمة بالنسبة إلى العديد من البحوث : سلم خارج عن المجرات ، نجوم متغيرة ، الخ .

إن القشرة الأرضية لم تعد قاسية : من أجل تخفيض عدد الأرصاد أخذ في الاعتبار حركات نظام لمرجع الاستوائي فوق الكرة السماوية (مبادرة الاعتدالين وتمایل وارتجاف الأرض بفعل جذب الشمس والقمر) ولكن النظام المحلي المستعمل كوسيط والمحدد بالخط العامودي وبالخط الماهجري الكواكبي افترض ثابتاً . ومع ذلك بين أولر سنة 1765 ، أنه إذا كان دوران الأرض لا يتم بدقة حول محور رئيسي جامد للأرض ، فإن هذا الدوران لا يكون له اتجاه ثابت بالنسبة إلى الأرض : إن القطب الأرضي ، وهو نقطة تلقي فيها هذه الوجهة بسطح الأرض ، يمثل عندئذ حركة تمایل مدتها 305 أيام .

ونظراً لتأثيره على السموات وعلى خطوط العرض يتوجب على التمايل الأولري إذا لم يكن

معلوماً ، أن يظهر عند رصد المواقع . وقد بحث بيسل عن هذا التمايل عتياً في سنة 1821 في قياسات سُمّت «ميرة» «mire» هاجرية . ومن سنة 1842 إلى 1873 لم تطع الأرصاد المركزة حول خطوط العرض والمنظمة خاصة في بولكوف نتائج مطلوبة .

إلا أن العناصر المحلية لم تكن مستقرة على الإطلاق فقد أجرت الجمعية الجيوديزية الدولية ، بناء على اقتراح ف كوستنر Küstner ، أرصاداً متتابعة على عرض برلين وبوتسدام وبراغ في سنة 1889 و 890 . واثبتت الأرصاد المتغيرة والمتوافقة ، التي حصلت يومئذ حقيقة حركة القطب الأرضي . ولكن هذه الحركة لم تكن تظهر بالمظهر المتوقع : ففي سنة 1891 اكتشف الفلكي الأمريكي س.ش. شندلر Chandler فيها حقتين أولاهما 12 شهراً والثانية 14 شهراً . إن الحقبة السوية ذات منشأ مثيرولوجي . والحقبة الثانية أو الحقبة المنسوبة إلى شندلر قد فسرها س. نيوكومب السنة التالية : بدلاً من حقبة أولر المشتقة عن حساب تعتبر فيه الأرض كجسم جامد لا يتغير شكله ، يجب إحلال قيمة بديلة أكبر إذا كانت الأرض مزودة بنوع من المطاطية .

إن ضخامة الحركات لا تتجاوز ٣.5 ، أي 15 متراً على الأرض . وهذا المدى الحركي غير ثابت . إن مسار القطب الأرضي الآني يستعصي على التنبؤ بحيث أنه توجب تأسيس مصلحة دولية لخطوط العرض في سنة 1900 من أجل تحديد هذا الارتفاع الدائم المستمر .

وبذات الحقبة تأكدت مطاطية الأرض من خلال مظاهر أخرى تدخل في علم الجيوديزيا بشكل خاص . وجود المد والجزر في القشرة الأرضية ، الحركات المحلية في العامود . وهكذا بدت المعايير الداخلة في قياسات الموقع متحركة أو غير ثابتة : فبعد المراجع الفلكية أي المركبات مثل مبادرة الاعتدالين والأرجحة أو التمايل والتحركات الذاتية للكواكب ، جاء دور المراجع أو المركبات المحلية . وكان لا بد من وجود نوعين من الانساقات أو اللزوميات : انشاء رقبات تجريبية دائمة من أجل الظاهرات ذات الصفة الاحتمالية ، استحالة استعمال القياسات دون أن يستبعد منها التحليل الاحصائي ثموجاتها .

IV - البنية السماوية لعالم الكواكب

مشاكل المسافات : إن تثبيت وتحديد معدل ضخامة المسافة بين الشمس ومطلق كوكب هي مشكلة أثارت أهميتها الفلسفية والعلمية أبحاثاً ناشطة طيلة أكثر من قرن . وكانت الفائدة من هذه الدراسات ، التي ظلت لمدة طويلة غير مجدية من حيث موضوعها ، ضخمة : فاكشاف تمايل الأرض والزنيان (يراجع مجلد 2 الفصل 2 القسم 2 ، والوجود الفعلي للأنظمة الكوكبية (راجع فيها بعد) قد انبثق عن هذه الاكتشافات مباشرة ، هكذا فإنّ عنصرين في تصورنا للكون ، حقيقة حركة الأرض ثم الصفة الكونية لأنون المجاذبية، نتجا عن البحوث حول موضوع لم يكن على علاقة ظاهرياً بها . إن مسار معارفنا يتبع عموماً مثل هذا الطريق . إن المسافة البعدية لنجم ما يتحدد بفضل ما يسمى « بارالاكس » «Parallax» أو الزاوية التي منها ترى - منذ النجمة - الوحدة الفلكية الطولية (وتعادل القيمة الوسطية لشعاع المدار الأرضي أي 150 مليون كلم) . إن « البارالاكس » يتبدل عكسياً مع المسافة . وهو يساوي (ثانية واحدة = 1") لمسافة مقدارها 206 آلاف وحدة فلكية أي

3×10^{13} كلم . وهي مسافة يقطعها الضوء بخلال 3 سنوات وربع .

إن الحركة السنوية للأرض تثير مفعولاً منظورياً يُدخل في الاسقاطات الاستوائية لنجمة ما اختلافات سنوية تتناسب مع « البارالاكس » . ويتعلق الأمر بالنسبة إلى الكواكب الأكثر قرباً ، بتقلات هي جزء من الثانية من الدرجة أي من مرتبة دقة القياسات .
وتنصوّر أن مفاعيل « البارالاكس » قد اكتشفت ثم تبين أنها وهمية .

أنه في سنة 1832 فقط حصلت تقديرات ذات قيمة « للبارالاكس » ، وبصورة مستقلة من قبل بيسل في كونيغسبرغ ومن قبل ف. و. ستروف في دوريات . واستخدما نفس المبدأ كأساس : دراسة موقع كوكب ذي حركة قوية خاصة (وإذا مفترض القرب) نسبة إلى كواكب قريبة جداً منه ، وقد أجرى ستروف هذه القياسات النسبية بواسطة « ميكرومتر » ذي خيوط كما درس فيغا Vega . فوجد بالنسبة إلى « بارالاكس » أعداداً متنوعة تتراوح بين $(0^{\circ},12)$ و $(0^{\circ},26)$ (القيمة الحديثة تساوي $0^{\circ},12$) .

استعمل بيسل « هليومتراً » مبنياً بصورة خاصة من قبل فرونفهر Fraunhofer ودرس النجم 61 سيغني Cygni . وكانت تقديراته متجانسة في ما بينها في حدود بعض الجزئيات المئوية من الثانية ، كما كانت متوافقة أيضاً مع التقدير الحديث $(0^{\circ},30)$. وكانت هذه النتائج ، وخاصة نتائج بيسل لا تدع مجالاً للشك حول المفعول الحقيقي المدروس .

وبعد ذلك بقليل حدد هندرسن Henderson وماك لير MacLear في الكاب ، بواسطة الأرصاد المجهرية ، « بارالاكس » « الفاستوري » (سانتوري) واستنتجاً في سنة 1840 أنها تساوي $(0^{\circ},98)$. وهكذا تم تقدير المسافة ، مسافة نجمة بدت فيها بعد كاحدي النجوم الأقرب إلينا . ويتوافق مع القيمة الحديثة $(0^{\circ},76)$ للبارالاكس مسافة تساوي 270 ألف مرة شعاع المدار الأرضي أي أكثر بقليل من 4 سنوات ضوئية . وفيها بعد تم بناء كاتالوغات للبارالاكسات ، وهي عملية شاقة بشكل خاص إذا أجريت عن هذا الطريق « التريغونومتري » ، إذ يتوجب إجراء دراسة مستمرة لكل نجمة طيلة سنتين على الأقل . وتعتبر أعمال ش. أ. ف. بيترس C.A.F. Peters في بولكوفو ، حوالي 1845 ، وأعمال جيل Gill والكين Elkin في الكاب بعد ذلك بأربعين سنة ، من بين الأعمال الأهم وبحوالي 1900 توفرت « بارالاكسات » مؤكدة لحوالي 50 نجماً .

حركة الشمس : لقد تقرر أن مطلق نجمة تتحرك ضمن الكرة السماوية وأمكن التثبت من أن الاحداثيات إذا قيست على مرحلتين تظهر فيها بينها فروقات أكبر من الأخطاء الحقيقية التي تسبب التحديدات . ولما كانت هذه الأخطاء صعبة التقدير فمن الصعب أيضاً تحديد تاريخ الاكتشاف الحقيقي للحركات الخاصة للنجوم . أما الحركات التي تثبت منها جاك كاسيني Cassini سنة 1738 ، بفضل مقارنة المواقع الحديثة والمواقع التي حصل عليها ريشر سنة 1672 ، هذه الحركات بدت الأولى التي لا شك في وجودها .

وأناحت دقة القياسات التثبت وبصورة سريعة من التغير التدريجي ، البالغ بضع ثوانٍ في

النسبة ، بالنسبة إلى احداثيات عدد من النجوم . وفي سنة 1761 ، طرح لامبير مسألة التمييز بين الحركة الحقيقية لكل نجمة والمفعول الظاهر العائد إلى تغير محتمل في موقع الشمس ، وهو مفعول فكر به رادلي منذ 1738 . وحل هرشل المسألة سنة 1783 . ولاحظ هرشل وهو يدرس النجوم الست والثلاثين المذكورة في الكاتالوغ الاسامي الذي وضعه ماسكيلين Maskelyne ، لاحظ أن الحركات الظاهرية كلها تحدث بفعل التغير المحتمل لمكان النظام الشمسي ، (أي الحركات البارالاكسية الخاصة ، وعندها تتلاقى السطوح النصفية التي تتضمن اتجاه نجمة ما واتجاه حركتها الظاهرية عند نصف خط متوجه عكس الحركة الحقيقية للشمس ، وهو نصف مستقيم يلعب دور خط المسرب ضمن مفعول نظوري . ومن أصل الست والثلاثين نجمة - ومن بينها ثلاث عشر من أكثرها بريقاً تظهر الخاصية المعلن عنها - يتوقع فيها حصول حركة من الشمس نحو برج هرقل (أو كوكبة الجاثي أو الراقص) . ولما كان التلاقي غير دقيق من جراء وجود حركات فردية بين النجوم ، فقد بحث هرشل ، عن طريق التقريب التتالي عن الاتجاه المؤدي إلى حد أدنى في مجموع الانحرافات . وتوصل بالتالي إلى الاسقاطيات التالية للأوج apex : $\alpha = 246^{\circ}.8 = + 50$.

وفي سنة 1818 شكك بيسل بالنتيجة السابقة بعد أن درس الحركات الخاصة في كاتالوغه الأساسي . وكان الهامه افضل عادة ، ولكنه لم يلحظ الدور الضار الذي يلعبه الانتقاء بفضل الحركات القوية الذاتية عندما يكون هذا الانتقاء واقعاً على النجوم الضعيفة : إن الحركات الفردية الذاتية القوية تكون عديدة ، وتعلب على الحركات « البارالاكسية » التي تكون ، بالعكس من الأولى ضعيفة في مجملها .

وأعاد ارجيلندر Argelander الأشياء إلى نصابها بعد 20 سنة . ويدون أن يبحث عن تلاقٍ مستحيل ضمن معدات (مواد عمل) تتضمن نجومًا ضعيفة ، قدم طريقة الحساب التي تتيح العثور على الاتجاه الأكثر احتمالاً الذي يتبعه الأوج Apex وذلك عند افتراض توزيع الحركات الفردية توزيعاً عشوائياً . واطلاقاً من 540 نجمة مستعملة ، كان هو نفسه قد أعاد رصدها في أبو حوالى سنة 1830 ، استنتج ارجيلندر للأوج Apex : $(\alpha = 260^{\circ}.8 = + 32)$. وقسمت مادة العمل إلى ثلاث طبقات ، بحسب الحركة الذاتية . والنتائج الثلاث المستقلة لم تختلف في ما بينها إلا ببضع درجات . وتقرر وجود « الأباكس » بشكل لا يقلل الجدل .

وبرزت من بين التحديدات التي تتالت التحديدات التالية : تحديد و. ستروف O.Struve (1842) الذي حدد بدات الوقت قيمة ثابت مادحة الاعتدالين . وهالك تحديد آري Airy (1860) الذي يعتبر الأكثر استعمالاً اليوم والذي يوازي في الواقع تحديد ارجيلندر . واليوم من المعلوم أن اتجاه « الأوج » يتغير بحسب طبقة النجوم المدروسة . أما الاحداثيات التي اعتمدت في الأباكس الكلاسيكي ($\alpha = 270$) $(\delta = + 30^{\circ})$ ، قلما تختلف عن احداثيات ارجيلندر وحتى عن احداثيات هرشل .

وصحامة حركة الشمس لا يمكن الحصول عليها بواسطة هذه الطرق إلا إذا كانت مسافات النجوم المستعملة معروفة . لقد ظلت « البارالاكسات » لمدة طويلة مادرة جداً وتافهة جداً حتى امكن

التصرف على هذا الشكل . وبالمقابل تم الحصول مباشرة على هذه الضخامة ، بذات الوقت مع « الآبكي » ، انطلاقاً من قيم سرعات نجمية شعاعية . وكان لا بد من العثور على كاتالوغ جيد للسرعات الشعاعية الطيفية . وأتاح كاتالوغ فوجل Vogel ، ذي الواحدة والخمسين نجمة لكempf أن يقدر في سنة 1892 سرعة الشمس بما يعادل (18.5 كلم/ث) . إن القيمة المقررة حالياً هي 19.5 كلم/ث .

الأنظمة النجمية : أتاح رصد السماء بشكل خاص ، منذ اختراع المناظير ، اكتشاف مجموعة متنوعة من نجمتين أو أكثر متجاورة في اتجاهها . وكان من المخاطرة تصور تقارب حقيقي بين النجوم من مجموعة واحدة ، خاصة وأنها في أغلب الأحيان ذات لمعان مختلف ، وأنهم كانوا يؤمنون يومئذ بوجود ترابط قوي بين المسافة واللمعان .

وأدى فشل المحاولات من أجل إثبات حقيقة « البارالاكس » النجمي (راجع المجلد الثاني) إلى حمل و. هرشل على وضع برنامجه للقياسات التفاضلية ، التي هي أكثر دقة من القياسات المستقلة : إذا كانت إحدى المكونات في نجمة مزدوجة ، شيئاً بعيداً جداً والمكون الآخر شيئاً قريباً ، فإن موقعها النسبي يفتقر بمفعول منظوري يختلف أثناء الحركة السنوية للأرض (مفعول بارالاكس) . وفي سنة 1803 نشر و. هرشل النتائج الأولى لتحليل قياساته الميكرومتريّة . ولم يكن مفعول البارالاكس قد تحدد بعد ، ولكن ظهر مفعول آخر بالنسبة إلى كل من المجموعات الخمس ، ينبع الموقع ، موقع كل عنصر من العناصر ، قوساً إذا اتحنا مختلف تماماً عن الخط المستقيم ، أما التقعر فينتج نحو العنصر الآخر .

وبين هرشل أن حركة الشمس لا يمكنها أن تفسر الظاهرة الملحوظة ، فاستنتج وجوداً فعلياً لحركة نسبية غير متسقة مصدرها عمل متبادل . وهكذا عثر على وجود الأنظمة المزدوجة أو الثنائية .

وفيما بعد ، وحتى في حال عدم وجود عناصر دقيقة تتعلق بالحركات النسبية كان لا بد من التوصل إلى المقاربة الحقيقية لشبه مجموعة النجوم المزدوجة بصرياً : إن احتمالية ظهور نجمتين مستقلتين بمظهر التقارب قد استنتجت من تعدادات النجوم . ولوحظ أن هذه الاحتمالية بدت نافذة إذا قورنت بالتواتر الفعلي للمزدوجات المحصية .

إن معرفة قوس المدار الظاهري تتيح تعريف عناصر المدار الحقيقي على أساس الفرضية القائلة بأن هذا المدار هو مدار كبلري أي أن العمل المتبادل محكوم بقانون نيوتن . ونجد الفرضية مبررها إذا كان المدار الحقيقي المحسوب يمثل تماماً الحركة المرصودة (مواقع وزمن) ، من أجل القياسات التي سبق واستعملت وأيضاً من أجل القياسات التي سوف تتم فيما بعد . تلك هي الطريق التي أدت إلى تثبيت السمة الكونية لقانون نيوتن .

ومن الملحوظ أن أول فكرة تحصلت حول العالم الكواكبي قد ظهرت بشكل نتيجة ذات شمول . ففي سنة 1827 ، فعلاً ، وقبل 10 سنوات من امكانية تقدير المسافة التي تفصلنا عن نجمة ما ، حين قام سافاري - بعد أن حل المسألة الدقيقة الهندسية المتعلقة بحساب العناصر المدارية الحقيقية انطلاقاً من عناصر المدار الظاهري - ويطبق حله على (Ursae Majoris ٤) ؛ ويفضل الحقبة القصيرة نسبياً

(60 سنة) في هذه المزدوجة والانحراف الظاهر في المدار الحقيقي بدت صحة قانون السطوح محكومة بدقة ، مثبتة السمة الجبرية للحركة .

إن الجرم الشامل لنظام ثنائي يستتج بسهولة من معرفة الحقبة (T) ومن نصف المحور الكبير (a) من المدار الحقيقي ، عندما يكون البارالاكس قد قيس وأن القيمة المتربة لـ (a) معروفة . أن القانون الثالث عند كبلر (المجلد الثاني) ، وبالشكل الذي اعطاه إياه نيوتن يدل على أن الكتلة الكلية تتناسب مع الحاصل $\frac{a^3}{T^2}$ وهذا الطريق هو الوحيد الذي أتاح معرفة اجرام الكواكب . وأدت هذه الطريق في أيامنا ، وبواسطة العلاقة بين الجرم والبريق ، إلى معلومات أساسية حول البنية الداخلية للكواكب . وتعلقت الأجرام الأولى التي أمكن احتسابها بالنجوم القريبة . وتراوحت هذه الأجرام بين (6و0.5) ، باعتبار أن حجم الشمس هو الوحدة . وفيما يتعلق بجرم الشمس ، وكذلك من خلال طيفها ، بدت وكأنها كوكب مشترك .

إن تحديد المدار هو بالتالي مسألة مهمة . وبعد سافاري ، الذي عالج حالة خاصة ، حل جون هرشل المسألة في سنة 1831 بالنسبة إلى الحالة العامة . وبالنسبة إلى مئة مدار ، تراوحت الحقب بين عشروين مئتين من السنين ، وكانت هذه المئة معروفة في سنة 1900 . وعن طريق الرصد تكشف أنظمة ثنائية متعددة وتبينت : وقام ج . هرشل و. ف. و. شم و. ستروف ، وادمادر Mädlar ودومبروسكي Dombrowsky وبرنهام Burnham وسي See ، وغيرهم ، بتأمين دراسة حوالي خمسة عشر ألف مزدوج . وليست الكواكب المزدوجة بصرياً العناصر الوحيدة لمعلوماتنا . فقد اكتشف ش. بيكرينغ C Pickering في هارفارد ، سنة 1890 ، النجوم المزدوجة طيفياً . فقد لاحظ ازدواجاً دورياً في خطوط الطيف النجمية ، فعرف كيف يستخرج منها مفعول حركة مدارية تتعلق بالسرعات المركزية لعناصر مزدوج غير قابل للازدواج بصرياً .

إن الانتباه قد تسلط منذ زمن بعيد على بعض النجوم المتغيرة التي ينخفض لمعانها بصورة دورية وبشكل مهم وخلال فترة قصيرة من الزمن . وفرضية وجود رفيق غامض يسر النجمة عند كل دورة ، وضعت بشكل معادلة ، بمناسبة « الغول » Algol ، في سنة 1880 من قبل بيكرينغ . فقد استطاع هذا الأخير أن يحدد المدار المتوقع . وفي سنة 1889 رصد فوجل Vogel تقلبات دورية في الخطوط الطيفية عند « الغول » وهي تقلبات ثبتت فرضية بيكرينغ . وقد بين هذان الفلكيان معاً ، بعد ذلك بقليل أن المتغيرات من نمط (B Lyrae) (التي يرمز لمعانها بسمتين) هي من طبيعة متشابهة . فالمرافق هو هنا ضوئي . وهنا توجد فتحة المتغيرات ذات الكسوف أو النجوم المزدوجة الفوتومترياً .

البنية الفضائية للسدوم (طريق المجرة = درب التبانة) : إن بنية الكون الكواكبي لا يمكن أن تستخرج إلا من استقصاءات احصائية ؛ والأشياء المدروسة هي عينات يتوجب معرفة مميزاتها وكذلك معرفة المجموعات التي هي تمثيل لها وقد رأينا كيف أن الأعمال الحاصلة في القرن التاسع عشر قد اتاحت الحصول على معلومات دقيقة حول المواقع الفضائية وحول التقلبات المتعلقة بعدد كبير من النجوم . ولكن المسائل المتعلقة بتوزيع النجوم لم تتوضح بمثل هذا النجاح ، نتيجة انعدام المعرفة الكافية بدور العناصر الفيزيائية .

واهتم و. هرشل أولاً بالدراسة المنهجية لتوزيع الكواكب . وعمل عن طريق الرابطة ، فعدد النجوم المرئية في الحقل من 15' المقرر بفضل منظار ذي تكبير ضعيف مدورن ليتلام مع تيلسكوبه من ضخامة 20 قدماً . وتشكل هذه الحقول الأولية « معاير » يتوجب منها حوالي مليون لتغطية الكرة السماوية . واكتفى هرشل باختيار بعض الألوف منها ، موزعة بشكل ملائم في منطقة عامودية على السطح المجري . وعقب 1785 كان بإمكانه استخراج الجوهري من النتائج التي ظلت صالحة : إن النجوم موزعة بشكل محسوس ضمن طبقة ذات سماكة ضعيفة نسبياً وذات قطر كبير . وتقع الشمس ضمن السطح الأوسط من هذه الطبقة وتحتل موقعاً خارج المركز . إن مجمل النجوم يشكل نظاماً وحيداً يسمى طريق المجرة أو درب « التبانة » أما السلسلة البيضاء التي تحمل نفس الاسم والتي تتبع تقريباً دائرة كبيرة ضمن الكرة السماوية ، فليست إلا الترجمة البصرية بالنسبة إلى مراقب من داخل النظام ، وذلك بفعل تكدس النجوم ضمن الطبقة . ومن أجل إعادة التوزيع الفضائي انطلاقاً من التعداد فلا بد من معيار بعدي . إن ضخامة النجمة ، وفيها بعد قيمة حركتها الخاصة ، قد استخدمتا من أجل هذه الغاية . وقامت أعمال عديدة على أساس هذه المواضيع . ولما كانت النجوم تشكل مجموعة متناثرة عندما لا تجمع وفقاً لخصائصها الفيزيائية ، فإن النتائج الحاصلة لا يمكن أن تكون إلا وهمية . إذ لا سبيل إلى استرجاعها . ولكن تطور الأفكار ، التي سادت في الساحة الفاعلة ضمن الكون بفضل العالم المجري ، قدم بعض المنفعة التاريخية .

في القرن الثامن عشر تصور البعض ، أمثال كانت ولامير الكون بشكل مجموع لا متناه من الأنظمة ، إما متراكبة وإما يحتوي بعضها البعض . وتشكل النجوم المرئية نظاماً بالذات . أما الأنظمة الأخرى ، أو الأكوان الجزر ، فيجب البحث عنها بين الأشياء المنتشرة التي كانت مصنفة في ذلك العصر على أنها سُدم . وهذا التصور يخضع لمباحث فلسفية أكيدة .

إن الوسائل الكبرى ، مثل وسائل هرشل اتاحت تفكيك عدد من السدم إلى نجوم . وكانوا يوشحون السدم إلى كتل نجمية وإلى سدم لا يمكن ردها إلى نجوم . وكان من الواجب أيضاً افتراض أن هذه السدم غير المفككة هي أيضاً ذات طبيعة نجمية ، بعكس رأي هرشل الذي افترضها غازية . ولكن الطبيعة الغازية لبعض النجوم قد تقررت انطلاقاً من سنة 1864 عندما عرف هوغينز أنها تشكل ظلالاً ذات بث .

إن وجود العوالم الجزر أصبح بعد ذلك مشكلة ، وفي أواخر القرن التاسع عشر اعتُبر بحكم المؤكد أن الكون يمتلئ ويتمهى مع العالم المجري . ولم يكن الحقل ، رغم ذلك أقل انفتاحاً على كل الأفكار وبصورة خاصة انطلقت وانتشرت فكرة أن طريق المجرة « لها بنية حلزونية » (س. الكسنلر ، سنة 1852 ، ثم ر. بروكتور Proctor سنة 1869) قليلاً بعد أن سبق للورد روس Rosse أن تعرف على هذه البنية لدى بعض السدم (1845) ، وقبل أن حُلَّت هذه إلى نجوم (1924) .

وبفعل آثارها المتبادلة الجذبية ، تخلق النجوم . حقل جذب يتحكم بحركاتها . وكان من الطبيعي الاستخلاص أن هذا الحقل - بمعزل عن الآثار المحلية - قريب نوعاً ما من الحقل الذي تحدده كتلة وهمية ، تلعب بالنسبة إلى النجوم الدور الذي تلعبه الشمس بالنسبة إلى السيارات التابعة . هذا

المركز الديناميكي ، الذي لا يعدو أن يكون ما نسميه اليوم المركز المجري - بدأ البحث عنه انطلاقاً من سنة 1846 من قبل مادلر Mädlér ، خليفة ف. و. ستروف لرئاسة مرصد دوربات. وبالرغم من انتباه بعض علماء الفلك إلى أن المعطيات الحركية المتوفرة بخلال القرن لم تكن تتناسب ابداً مع ما هو ضروري لمعالجة هذه المشكلة ، بقيت فكرة الشمس المركزية سائدة لمدة طويلة ، ربما بسبب هذا الاسم الخيالي. وكان مادلر Madler يوضع هذا المركز ضمن الثريات ، مقابل اتجاهها الحقيقي تماماً . والواقع ، وحول السمات العامة للبنية الفضائية ، بالنسبة إلى طريق المجرة ، يمكن القول بعدم تحقيق أية خطوة تقدم بين 1785 و 1897 ، وهو التاريخ الذي كشف فيه هـ. كوبولد Kobold ، عن طريق الاحصاء ، وجود مفعول منتظم ومنهجي في الحركات الخاصة المطلقة . وأدى تأويل هذا المفعول ، وبسرعة ، إلى اعمال كابيتين Kaptien ، وأعمال ك. شورزشيلد Schwarzschild حول توزيع السرعات .

٧ - المعلومات الأولى حول الفيزياء النجمية

إن المعلومات المتوفرة والمتلقاة عن نجمة ما تنقل الينا بفعل اشعاعها. ومساهمة القياسات في الفيزياء النجمية ترجع فقط بدراسة زخم الاشعاع سواء كان ضوئياً أم لا، تبعاً لمختلف اطوال الموجة . وإذا كانت الدراسة الوعية للاشعاع الضوئي الكامل ، أو للمعان الظاهر ، قديمة المنشأ ، فإن دراسته الكمية هي مرتبطة بتقدم الفوتومتريا أو استعمال القياسات في التصوير . أما تحليل الاشعاع فسوف يقتصر في البداية على القسم المنظور من الطيف النجمي ، ولن يتجاوز ، طيلة القرن مرحلة الدراسة الوصفية .

١ - المعان الظاهر

الأبعاد أو الضخامة : قسم الأقدمون بصورة واقعية النجوم إلى ست مراتب بحسب ضخامتها . وبعد اختراع المناظير ، لم يعد يوحد حد أدنى للمعان المنظور ، بشكل مطلق . وكان لا بد من الاصطلاح على طريقة تسمح بتوسيع التقسيم بصورة تدريجية : وتقوم الطريقة التي سادت بشكل طبيعي على اعطاء الرقم 7 للكوكب ، إذا نظر إليه من خلال المنظار ، بذات الوقت مع نجمة ذات كبر 6 ، يشكل معها مزدوجاً يوحي باحساسات ضوئية تشبه الاحساسات التي تراها العين المجردة لنجمتين من عيار 6 و 5 (أو 5 و 4) . أما الأبعاد التالية فقد تحددت بنفس الطريقة وبشكل تقريبي .

ولم تكن الطريقة تمكن من الوصول إلى نتائج مترابطة لأن الأساس بالذات ، المتكون من ضخامات نجوم مرئية بالعين المجردة ، لم يكن الا من أكثر الأسس تملخلاً ، وهذا ما ثبت منه و. هرشل عندما قام بدراس هذا الأساس قبل ان يشرع في الفحص الوصفي العام للساء . ومن الناحية العملية قام الفلكيون ، الذين شرعوا في اعادة النظر بتصنيف الأبعاد عن طريق الملاحظة المباشرة (أي بدون فوتومتر) بتطبيق المبادئ التي وضعها هرشل سنة 1796 : اجراء مقارنات عديدة لسلاسل من الكواكب مصنفة بحسب اشعاعها المتنازل . واختلفت النتائج بحكم اختلاف سلم التصنيف وبحكم الدقة الداخلية .

إن القياسات التي اجراها جون هرشل في الكاب بين (1834 و 1838) تميزت بدقتها . وكان الخطأ

الوسطي (الداخلي) في التقديرات يتجاوز بقليل $\frac{1}{20}$ من الضخامة ، أي أنه كان أعلى بقليل من خطأ القياسات التي أمكن إجراؤها بواسطة فوتومتر جيد . وتناولت القياسات الأولى التي قام بها ارجيلندر ، والتي نشرت في « اورانوميترناوثا » ، سنة (1843) كل الكواكب المرئية بالعين المجردة عند خط عرض بون . واهمية هذا الكاتالوغ جعلته يؤخذ كأساس للسلم الفوتومتري ، في حين كانت السلالم المختلفة متقاربة نوعاً ما لأنها كلها صادرة ، في نهاية المطاف من سلم بطليموس . وتضمنت كاتالوغات ارجيلندر واتباعه الأبعاد المرئية (الحاصلة بفعل الرصد المباشر) في الكواكب الأكثر بريقاً من الكواكب ذات الضخامة بدرجة العشر ، أي أكثر من مليون نجم .

السلالم الفوتومترية : إن الفوتومترات ، التي وصفت اعلاه قد أتاحت في بادئ الأمر دراسة السلم التجريبي . وبعد (1836) لاحظ س.آ. ستيفيل . بأن الضخامات تتغير على نسق لوغاريثم اللمعية . وتُعزى هذه القاعدة ، بشكل عام إلى الفيلسوف فكنر Fechner ، الذي وضع صيغة أكثر عمومية إنما في سنة (1859) فقط ، مؤكداً بأن الاحساسات تتغير تبعاً للوغاريثم المحفزات . وكان لا بد من إضافة أن تلقي لمعان الكواكب يشكل التحفيز الوحيد عملياً الذي يتيح التثبيت من القاعدة المسماة قانون فكنر . ثم إن هذا التثبيت لم يكن إلا تقريبياً .

إن السُعامل الذي يجب اعطاؤه للوغاريثم اللمعية قد تحدد في سنة (1879) بـ (2.5) وهو عدد قدمه بوغسون Pogson في سنة (1856) ، واقترب اسمه بهذه الصيغة . وحصل ستيفيل على المعامل (2.2) . أما أصل السلم ، فسوف لن يتحدد إلا بعد ذلك بكثير ، بواسطة احصائية .

المقادير الضوئية (ماغنيتود) : بعد وضع السلم الفوتومتري ، اتاحت الفوتومترات اعطاء الأبعاد قيمة محددة تماماً أطلق عليها بعد ذلك اسم الضخامة (ماغنيتود) .

وبعد الأخذ في الحسبان اخطاء التقدير التقريبية ، كانت الضخامة الواقعة بين (3 و 6) تتطابق شكل محسوس مع « الماغنتود » . ولكن الكواكب البارقة التي كانت قديماً ذات ضخامة من الدرجة الأولى تطابقت ، عموماً مع « ماغنيتود » أقل من (1) وأحياناً مع « ماغنيتود » عديمة أو سلبية ، مثل « ماغنيتود سيربوس » Sirius التي تساوي (1.6 -) . إن الكاتالوغات ذات الماغنتود البصري قد انبثقت بصورة رئيسية من الأعمال التي حصلت في مراصد هارفارد وبوتسدام .

وتضمن كتاب « Revised Harvard photometry » وملحقه ، اللذان صدرا سنة (1908) ، نتائج مليون من القياسات تقريباً . واهتم الكتابان بمجمل الجيوم البارقة وبعض آلاف النجوم الضعيفة إن هذه التقديرات قد حصلت ابتداءً من 1879 بواسطة الفوتوميترات الهاجرية من قبل بيكرينغ Pickering وتحت اشرافه ، واستندت هذه التقديرات ، من حيث المبدأ إلى كواكب هاجرية معيارية . ولكنها (أي التقديرات) قورنت في الواقع بالنجم القطبي ، الذي عرف عنه فيما بعد أنه ذو تغير في لمعانه من عيار عشر « الماغنتود » . وهذه الواقعة قلما عدلت في دقة النتائج . هذه الدقة التي لم تصل إلى دقة « بوتسدام دورك ماسترن » (أو P.D.) ، هذا الكاتالوغ الأخير تضمن القياسات الحاصلة بين سنة 1886 وسنة 1905 من قبل ج. مولر Müller وب. كمف Kempf ، بواسطة فوتومتر زولنر zöllner

واهتم هذا الكاتب بالغ بكل الكواكب في الشمال حتى الماغنتود (7,5) . إن نوعية (P.D) تتعلق جزئياً ببحوث مهمة حول الامتصاص الفضائي الأقليمي هذه البحوث التي أجراها موللر حوالي (1880) . ويتعلق الأمر هنا بآثر معقد، دُرِس منذ (1729) من قبل بوغر وهو ما يزال حتى الآن مجهولاً ، ويطال كل التحديدات الفوتومترية التي ليست تفاضلية بصورة ضيقة .

الكواكب المتغيرة : في سنة (1638) أُشير لأول مرة إلى النجمة (ميراسيتي) Mira Ceti ذات التغيرات في لمعانها بشكل محسوس ودوري . وقد تم التعرف على حوالي خمس عشرة منها في سنة (1843) وهي الحقبة التي قام فيها (ارجيلندر) بالإفادة من تجربته الفوتومترية فوضع مبادئ البحث والدراسة حول الكواكب المتغيرة . وفي أواخر القرن التاسع عشر تحدت منحنيات الضوء لعدة مئات من النجوم عن طريق الفوتومتريا البصرية المباشرة بوجه عام . وقد امكن تمييز الفئات المختلفة من المتغيرات (نوعاً أي الجديدة وغير المنتظمة ، ذات الحقبة الطويلة) (عدة اشهر) وذات حقبة قصيرة (بضعة أيام) . وفي سنة (1895) اكتشف بابلي فوتوغرافيا متغيرات الكتل ذات الحقبة القصيرة جداً (بضخ ساعات) .

وأدى وجود كواكب مزدوجة (متغيرة ذات كسوف ، وثنائية ظلالية وطيغية) بين المتغيرات ذات الحقبة القصيرة ، إلى اعتبار - خطأ - كل الكواكب من هذه الطبقة وكأنها ثنائية . إن الرصد الطيفي للنجوم الملتصقة Céphéides أدى إلى هذا الوهم لأن نبضاتها ترجمت بتغير في السرعة الشعاعية النصف قطرية التي تشبه التغير الحاصل بفعل حركة مدارية فعلية . وكانت نظرية الفضاءات الكوكبية ضرورية لفهم منشأ تغير اللمعان . ولم يكن بالامكان يومئذ تقديم أي تفسير مرضٍ لهذه التغيرات . ولم يكن بالامكان الوقوف الا عند الدراسات الوصفية باعتبارها مساهمة ايجابية .

2- برقية رقمية : الطيف

منذ البداية ، بداية «السبكتروسكوبيا» أي تسجيل الطيف ، لاحظ «فروهنوفر» Fraunhofer أن الطيف الكوكبية تختلف بعضها عن بعض وتبدو وكأنها تميز كل شيء . ولكنه لم يكن يظن بوجود هذا الغنى المدهش للمعلومات الموجودة داخل الطيف . ومُر قرن من الزمن قبل أن تستغل هذه المعلومات بشكل كامل .

وبعد (1859) تمت صياغة قانون كيرشوف Kirchhoff ، وتم وضع برنامج البحوث : دراسة الخيوط المنبثقة من عناصر بسيطة ثم محاولة تحديد ماهيتها ضمن الأطياف الفلكية . وسرعان ما تبين ، بالدراسة المفصلة للأطياف الكوكبية الجديدة ، إن عدد العناصر البسيطة المعروفة يتزايد كلما تقدم علم الأطياف . وبعد (1863) اكتشف هوغينز وميللر ذرية من العناصر ضمن أطياف بيتلغوز Bételgeuse وألد ياران Aldebaran . وتبين أن التصنيف لا يمكن أن يركز ويتأسس إلا بشكل عشوائي سنداً لسمات عامة يجب تشيئها . واستنتج سيكي Secchi ، بعد سنوات من الرصد ، في سنة (1867) توزيعاً للأطياف وفقاً لثلاثة نماذج بحسب وجود أو زخم بعض المجموعات من الخيوط الضوئية . وهذه الأنماط كانت تلتزم باللون الظاهر للنجم ، نجوم «زرقاء» مثل سيريس Sirius ونجوم «صفراء» مثل الشمس ، ونجوم حمراء مثل بيتلغوز Bételgeuse . وهذا النمط الأخير الذي

يتضمن أيضاً غالبية المتغيرات ، قسم فيما بعد ، بعد وضع النجوم « الحمراء جداً » أو الهيدروجينية جانباً .

إن تصنيف سيكي ، الموضوع بدون اساس نظري مسبق ، كان بسبب هذا بالذات ، صلباً . ولم يفعل فلكيو هارفارد ، من أجل توضيح هذا التصنيف ، في كاتالوغهم الأول الفوتوغرافي ، الا تفرعه : إن درابر كاتالوغ استعمل هنا طبقات مزودة بحرف من A حتى N ، وهذه الطبقات تتبع الأغاط الأربعة التي قال بها سيكي ، أما الجداول فقد تم وضعها ضمن الكاتالوغات المتتالية حتى توصلت في سنة 1901 إلى حالة قريبة من الكاتالوغ الموجود اليوم . ويرتكز تصنيف سيكي بصورة رئيسية على الزخم النسبي لمختلف اشعة الهدروجين . وهذه الأعمال التصنيفية ، التي تمت تحت اشراف بيكينغ Pickering وعلى يد مسز فليمنغ Fleming ، ومس موري Maury ومس كانون Cannon ، هي التي اعطت كاتالوغ هنري درابر قيمته . ويقدم هذا الكاتالوغ الذي تم نشره في سنة 1924 ، الضخامة الفوتوغرافية ، والمرتبة الطيفية لـ 225 ألف نجمة أي ضخامة كل النجوم الأكثر بريقاً من النجوم من عيار 6 ، وكذلك أيضاً ضخامة ومرتبة عدد كبير من النجوم الضعيفة .

وقمت محاولة تفسير الأطياف بكل تأكيد . وكان من الأسهل ربط النمط الطيفي بدرجة الحرارة (ربطاً نوعياً) بالمقارنة مع الظاهرات المرصودة في المختبر . والفكرة البديية القائلة بأن درجة الحرارة تترجم حالة تطور النجم وتتيح تحديد عمر الكواكب سنداً لنمطها ، قال بها زولز منذ 1865 . وعاد إليها فوجل Vogel سنة 1874 وجعل منها اساس تصنيف طوره بعده لوكر Lockyer الذي اضاف ، إلى درجة الحرارة ، الثقل النوعي كعنصر اساسي في التطور . ولم تقدم هذه الفكرة في النهاية أي شيء ايجابي ، باستثناء انها حفزت البحوث وأنها أدت بشكل خاص إلى بحوث هـ . ن . روسل Russell . وبالعكس إن النتائج ، وقد اقتصرت على التأويل المباشر لمعطيات الرصد ، بقيت صالحة ، ولم يمكن عرضها إلا ضمن اطار التركيبات التي اتاحت النظريات الحديثة وضعها . ولهذا سوف نستعرض أوائل هذه النتائج فقط هنا . الكثير من الأشياء المنتشرة ، المصنفة ككواكبية ، امكن حلها وتبدت بشكل كتل من النجوم . وكان بالامكان الافتراض أن كل السدم هي كتل ، ولكن هوجنيز Huggins لاحظ في سنة 1864 أن طيف احداها كان عارياً من الخيوط الامتصاصية ، واستنتج ، بحقي ، الطبيعة الغازية للشيء كما لاحظ في سنة 1866 في طيف « نوكا » الخيوط الامتصاصية الهيدروجينية ، وهي ظاهرة تترجم صدور غازات ذات درجة حرارة مرتفعة . وهكذا تم لأول مرة اقران تفسير اللمعة بمظهر آخر فيزيائي . وأخيراً رأينا اعلاء أن نفس الفلكي ، طبق بعد ستين علم البكتروسكوبي على قياس السرعات الشعاعية .

VI - الحركات والحاذبية

إن الكشف التقليدي عن النظام الشمسي بقي مشمراً . لقد زودت النجوم السيارة بتوابع جديدة . وكانت الشهب ، التي ما انفك الجمهور يهتم بها ، موضوع العديد من الدراسات ، ومنها الدراسات المتعلقة بتحديد مداراتها ، التي بقيت صالحة : ومنها طريقة اولبرس Olbers التي نشرت سنة 1797 ، ومنها اعمال غوس التي سوف نعالجها فيما بعد عند البحث في النجميات « الاسترويد »

في كتاب ت. أوبولزر Oppolzer (1882). ان الاحية التي تطرحها الكواكب المذنبة ، أو الأمطار الميتورية (التيزكية) قد حلت بصورة جزئية : فقد بين Otmsted وتوينينج Twining ويوهان سنة 1834 أن هناك فرقاً من الجسيمات ترسم مداراً حول الشمس يقطع مدار الأرض ، ثم حذد ج . شيانارييلي سنة 1866 نماهي مدار النجوم المذنبة Perséides ، وهو كيش معروف منذ أكثر من عشرة قرون ، مع مذنب اكتشف في سنة 1862 . ان هذا الرابط بين الشهب والنيازك هو ظاهرة سوف تعرف ستمتها العامة سريعاً وهي تثبت الفرضية التي صاغها د . كيركود Kirkwood أولاً في سنة 1861 . ويجوبها تتألف النيازك من بقايا حاصلة على اثر تفتت نواة الشهب بصورة تدرجية .

ولكن حصلت نتائج دات مدلول آخر . لقد رأينا عند البحث في البارالاكسات (تغير المناظر) النحومية كيف نستطيع بعض البحوث - حتى ولو بقيت لمدة طويلة غير مجدية في ما حص موضوعها - أن تؤدي بصورة غير مباشرة إلى اكتشافات مهمة . في الميكانيك السماوي بقيت المعارف واسعة في القرن التاسع عشر بحيث أن التفاعلية العكسية ظلت هي القاعدة . فمن طريق الانهالام أو عن طريق التحليل العقلي أو الحساب كان يجري البحث عن أجسام معترضة كان الراصدون يكتشفون فيما بعد وجودها المعلي . مشهورة ومكررة ، ومعنية بمجال لا تقبل فيه العقول المتصوفة بدون تمنع أن يمارس العلم سلطته . لعنت التأكيدات المادية على الافتراضات أو التنبؤات دوراً ، في ذلك الزمن ، لصالح العقلانية . معطية لعلم الفلك ، مرة اخرى ، دوراً في تطور تيارات الرأي العام ، هذا إن لم يكن لها دور في تطوّر العقائد .

السيارات الجديدة : لقد تم للعالم و . هرشل ، وعن طريق الصدفة حين ما كان يبحث عن نجوم مزدوجة ، اكتشاف الكوكب السيار الذي سمي فيما بعد « اورانوس » ، وذلك في سنة 1781 . وكان هذا الشيء قطر طاهر مرئي . وسرعان ما تبين أنه قد رُصد كنجم ، منذ سنة 1690 وعلى عدة دفعات . وعن الرغبة من الصعف في تنقله السنوي ، بمقدار اربع درجات في السنة ، استطاع ب. اورباني Onani ، من ميلانو أن يحدد له مداراً ملائماً نوعاً ما منذ 1785 . وكان نصف محوره الكبير يساوي عشرين مرة محور المدار الأرضي .

ولكن الفلكي الريلي ج. بود J. Bode كان قد تعرف على صيغة بسيطة تعطي مسلاً من الأعداد تمثل بشكل صحيح المسافات بين الشمس والكواكب السيارة التي كانت معروفة . وهي صيغة تخريبية وصغت سنة 1772 من قبل ح. تيتيوس Titus . ان الحد من هذه السلسلة الذي يلي الحد المقرر للكوكب رحل يمثل المسافة بين النجم الجديد والشمس . وارتدت الصيغة بعد ذلك صفة القانون التخريبي الحق ، الذي ما يزال تبريره النظري غير حاصل اليوم . فبين الكوكبين المربيع Mars والمشتري هناك ثمة . وقد اشار اليها كبلر Kepler ، كما اعطت القاعدة التي وضعها تيتيوس وبود Bode المسافة التي كان من المفترض أن تتواجد فيها النجمة الغائبة .

في حين - وبناء على مبادأة من فون زاك Zach - قامت مجموعة من الفلكيين الألمان بوصف برنامج رصد منهجي بحثاً عن الكوكب السيار المفترض . وبصورة عرضية التفت ج. بيازي Piazzi ، وهو يحدد مواقع بعض النجوم في مرشد باليرم ، وذلك ابتداءً من أول كانون الثاني سنة 1801 ، إلى شيء ضخامته من الدرجة 8 وليس له مظهر المذنب ولكنه ينتقل بين ليلة وليلة . واستطاع

أن يرصده طيلة ستة أسابيع . وتحصل لدى بود الهام بان ما يراه هو الكوكب المبحوث عنه . ولكن كان من الضروري معرفة مداره املاً بالعثور عليه في السماء ، ذلك أن اقترانه بالشمس جعل محاولات رصده مستحيلة بصورة مؤقتة . . كما أن الطرق النصف تجريبية المستعملة يومئذ من أجل تحديد المدارات غير البياضوية لا يمكن أن تطبق بنجاح على قوس مدار يمثل قصر المدار المتوفر يومئذ . ونشأ الصدف السعيدة ان يكون الرياضي الشاب غوس الذي انهى دراساته منذ عهد قريب ، قد حصل على عناصر الحل وركزها بهذه المناسبة . وانطلق بحمد المدار على اساس ثلاثة رصود للكوكب (وهي لطريقة الكلاسيكية عند غوس ، والتي ما تزال مطبقة اليوم) ، ثم ضبط المدار سنداً لرصودات أخرى عولجت بطريقة المربعات الصغرى .

إن الكتاب الذي عرض فيه غوس عمله ، وهو « نيورياموتس كوربورم كولستيوم » الشهير ، الذي صدر سنة 1809 ، يتميز بوضوح ملفت . واليوم تطبق طريقة المربعات الصغرى كثيراً ، وخارج المألوم ، حتى أن النتائج الخداعة الحاصلة عن طريقها تنزع الثقة منها . ومن المألوم أن يتعلم اعداؤها وعبدوها من النص الأصلي ما هي شروط تطبيقها .

وكان غوس مؤهلاً بسرعة لتقديم العناصر المطلوبة التي تتيح إعادة اكتشاف الكوكب السيار الذي سمي سيريس Cérès . وكان المحور النصفى الكبير متناسباً مع قاعدة تيتوس Titius ، وكانت مناسبة تبرر المشروع الذي تصوره الفلكيون الألمان وإن لم يتضمنه برنامجهم . ويشار إلى أن اكتشاف ييازي قد حصل في الوقت الذي توصل فيه الفيلسوف هيغل - الأقل توفيقاً من مواطنه كانت Kant في محاولاته الفلكية - إلى تبين اطروحة مفادها أن الكواكب السيارة لا يمكن ان تتعدى السعة .

وفي سنة 1802 اكتشف هـ. اولبرس Olbers ، من برين ، كوكباً سياراً جديداً هو بالاس Pallas ، في نقطة مجاورة لمدار سيريس Cérès . ومحور هذا الكوكب الكبير له قيمة الكوكب الآخر . وهكذا امكن سد الثغرة . وكان الاكتشاف باعثاً على الضيق . فقد استنتج اولبرس وجود كوكب سيار وحيد في البداية ثم تفكك فولد كيشاً من الكواكب السيارة الصغيرة تسمى استيرويد Astroïdes أو نجميات . ويمكن لمدارات هذه النجميات أن تكون منفصلة ، ولكنها جميعاً يجب أن تقطع نفس الخط المستقيم ، وهو الخط الذي يجعل الشعاع الانعياهي للكوكب الابتدائي عندما زال واندثر . وهكذا وجدت منطقتان في السماء يتوجب رصدهما بشكل خاص . وفي الواقع تم العثور في سنة 1804 على الجيم الثالث في احدى المنطقتين ، وفي سنة 1807 تم العثور على الرابع في المنطقة الأخرى . ومع ذلك كان تحليل اولبرس غير صحيح ، فالاختلال في المدارات الحاصل بفعل الكواكب السيارة الكبرى لم يكن ليتمكن سطوحها من الاحتفاظ بمستقيم مشترك بينها ، دائماً ، هذا إذا افترضنا وجود هذه الميزة اساساً .

ومضت حقبة طويلة من الزمن قبل وقوع اكتشافات لاحقة . إن عدم وجود خارطات سماوية جيدة كان يجعل من الصعب التعرف على هوية النجميات المحتملة . لقد رأينا اعلاه أن خارطات أكاديمية برلين قد وضعت لهذه الغاية . وحتى قبل ان تنشر ، فقد اتاحت التعرف على نجمة خامسة ، وذلك سنة 1845 بفضل فلكي هاو الماني هو ك. هنكي Hencke الذي اكتشف أيضاً النجمة

السادسة بعد ذلك بستين . ومنذ ذلك الحين ، لم تمض سنة دون أن يزداد عدد النجوم .

ذلك هو باختصار التاريخ العجيب ، تاريخ اكتشاف النجوم . ومن جراء الأدوار التي لعبتها بأن واحد المصادفة والاستلهام والفرضيات الخاطئة والنظريات الرياضية ، حدثت شبه قصة ذات قفزات متعددة ، الحكمة منها تقوم على أن الجهود العنيدة تلقى دائماً مكافأتها . اما ما يتعلق بأهمية هذه المواضيع في مجال علم الفلك ، وبصورة خاصة في مجال علم الفلك الأساسي وفي مجال علم الكون فهي لم تظهر حقاً إلا في القرن العشرين .

اكتشاف نبتون : إن الجداول عن اورانوس لم تبق لمدة طويلة متوافقة مع الأرصاد ، فقد نشر T. بوفارد Bouvard عنها جداول جديدة سنة 1821 . وقد اضطر إلى التخلي عن الأرصاد القديمة ، من أجل تمثيل أفضل للأرصاد الجديدة . وسرعان ما ظهر الخلاف أو الفرق فبلغ دقيقتين في نهاية عشرين سنة . وبدا قصور النظرية معزواً إلى سببين :

فكان نبتون لم يكن دقيقاً ، أو أن وجود كتلة مجهولة يشيع الاضطراب في الحركة . لقد سبق أن صاغ كليرو Clairaut أول فرضية تتعلق بحركة القمر وهو في أدنى منازل إلى الأرض ، ثم رفض هذه الفرضية بحق . فهي في الواقع لا تمكن من تقليص الخلاف دون أن تثير خلافات أخرى . والفرضية الثانية وقد أوحى بها بوفارد ذاته ، كانت موضوع بحوث مستقلة قام بها كل من لوفريه Le Verrier وادامس Adams .

وإذا تصورنا أن كوكباً سياراً أثار الاضطراب في حركة اورانوس ، فإن المجهولات في المسألة هي ، من جهة ، عناصر الكوكب المفترض . ومن جهة أخرى التصحيحات الواجب ادخالها على العناصر التي نسبت في السابق إلى اورانوس . إن بقايا الرصد ، رصد اورانوس ، ضعيفة جداً فلا تتيح تحديد هذه المجهولات الأربعة عشر . وكان لا بد من فرضيات تبسيطة مثل افتراض مدارات كوكبين ضمن نفس السطح ، وتقبل صحة قاعدة تيتيوس الخ . وعلى هذا الأساس بنى لوفريه (Le Verrier) بحوثه في سنة 1845 . وفي 31 آب 1846 نشر عناصر مدار الكوكب المجهول . وفي 23 ايلول التالي تلقى ج. غال Galle ، من مرصد برلين ، كتاباً يحدد فيه لوفريه (Le Verrier) الموقع المفترض ويطلب إليه البحث عن الكوكب في السماء . ولما كانت خرائط أكاديمية برلين حول المنطقة المشار إليها قد نشرت استطاع غال ، في نفس الليلة أن يرصد في الدقيقة 52 من الموقع المحدد شيئاً غير موجود على الخارطة . وفي الليلة التالية كان هذا الشيء قد غير مكانه تغييراً محسوثاً بحيث يدل على طبيعته الكوكبية السيارة . وحدثت ظروف احاطت باكتشاف الكوكب الجديد « نبتون » ، ضجة في المجتمع العلمي وفي الجماهير . وقبل ذلك بسنة وفي تشرين الأول سنة 1845 ، وفي الوقت الذي بدأ فيه لوفريه بالعمل ، تلقى ج. آيري Airy ، مدير مرصد غرينتش من ج. م. آدامس عناصر مدار الكوكب المشاعب المفترض . ودوناً ثقة كبيرة بالنتائج الحاصلة على يد زميله الشاب (وكان عمره يومئذ سناً وعشرين سنة) ، لم يقم الفلكي الملكي بنشر هذه النتائج . ولكنه أمر باجراء بحوث حول هذا الشيء في مرصد كمبريدج ابتداءً من تموز 1846 ، بعد أن دفعته إليها ملحوظة صدرت في الشهر السابق حيث نشر لوفريه عناصر جزئية تألفت مع عناصر آدامس . ولعدم وجود خارطة كان على الفلكيين في

كمبريدج أن يكتشفوا مواقع النجوم على عدة دفعات ثم مقارنتها من أجل اكتشاف الحركة المحتملة لأي منها . وكان هؤلاء الفلكيون ينقصهم الرشد حول هذه النقطة، فاطلعوا على الاكتشاف الذي توصل إليه غال قبل أن يكتشفوا أنهم يمتلكون ، بين أكثر من ثلاثة آلاف رصد للنجوم ، ثلاثة أرصاد لهذا الكوكب .

ويبقى آدامس ولوفرية غرباء عن المناظرات التي قامت حول أبوة الاكتشاف . واعتبر فضلكم متساوياً . وكان الحل الذي قدمه لوفرية أكثر دقة من حل آدامس ، ويمثل بصورة أفضل حركة اورانوس . والعناصر التي قدمها الرجلان عن نبتون كانت متقاربة جداً ، ومختلفة تماماً عن العناصر المستخلصة من الأرصاد اللاحقة . من ذلك أن نصف المحور الكبير الذي يساوي 39 مرة نصف محور المدار الأرضي وفقاً لقاعدة تيتوس ، والذي اعتبره آدامس ولوفرية على التوالي 37 مرة و 36 مرة ، لم يبلغ إلا ثلاثين . ولم تؤد المعطيات ، هنا ، إلا إلى تحديد قوس المدار الظاهري الذي يتوافق مع الحقبة التي كانت فيها الاضطرابات الحاصلة لأورانوس مهمة ، لا إلى التعرف على المدار ذاته . ونظراً لعدم فهم ذلك حاول كبار من معاصري لوفرية أن يقللوا من دور هذا الأخير في الاكتشاف . وفي الحقيقة، اقتصر دور الصدفة على السماح للبحوث بأن تبأشر نسبياً بعد فترة قليلة من اقتران نبتون مع اورانوس (1822) ، وهي الحقبة التي حصلت فيها أعلى نسبة من التشويش .

علم الفلك واللامرئي : يتبع مركز الثقل في أي نظام ثنائي حركة مستقيمة وموحدة النسق . وكل كوكب في النظام له حركته الخاصة المؤلفة من هذه الحركة المستقيمة ومن حركته الخاصة المدارية حول مركز الجاذبية . وعلى ذلك فوجود قرين غير مرئي يمكن أن يتكشف من خلال وجود تفاوت دوري في الحركة الظاهرة للنجم ، تفاوت يندمج مع التفاوت السنوي الذي يرد إلى « البارالاكس » . وتوصل بيسل ، في دراساته حول الحركات الذاتية وحركات « البارالاكس » إلى تحليل مجمل الأرصاد الدقيقة التي أجريت على نجمتين برفاقين هما « سيربيوس » و « بروسبيون » . واستطاع أن يؤكد ، في سنة 1844 ، أن مواقع هذه الكواكب تظهر تفاوتاً دورياً ضعيفاً (من درجة 2" و 1") ولكنه ثابت ، ويربره فقط وجود قرين ، قرب كل كوكب ، وهذا القرين مزود بكتلة شبيهة بكتلة الشمس . ومات بيسل في سنة 1846 قبل اكتشاف الكوكب المشوش على اورانوس ، هذا الكوكب الذي آمن بوجوده مع الأوائل الذين آمنوا بهذا الوجود ، قبل اكتشاف اقتران سيربيوس وبروسبيون .

وتعمد لسيربيوس مدار دقيق من قبل بيترز C.Peters سنة 1851 وأويرس A.Auwers سنة 1862 ، كما رُصد من قبل كلارك سنة 1862 أثناء تجربة لشبحته الجديدة من عيار 45 سنتيم . واكتشف قرين بروسبيون ، الذي اكتشف أويرس مداره بذات الوقت مع مدار قرين سيربيوس ، سنة 1896 على يد شابرل وذلك عبر المظار الكاسر من عيار 91 سنتيم في ليك . وكان الموضوعان نجمين ضعيفي اللمعان (صُنفاً فيما بعد تحت اسم « الأقزام البيضاء ») ، ورغم الأبعاد المعقولة (8" و 6") للمدارات النسيية ، فإن فارقاً من 10 « ماغنيتود » ، بالنسبة إلى لمان النجم الرئيسي ، جعل الرصد صعباً في الحالتين .

إن التعبير « علم الفلك واللامرئي » المطبق يومئذٍ على هذا المجال من البحوث ، ميمز للإحساس بالشجاعة الذي اقترنت به هذه الأعمال ، في زمن كان فيه العالم الكواكبي ، الذي تمت موضعتة منذ عهد قريب على بعد مليارات الأشعة الأرضية بعيداً عن علمنا ، هذا التعبير أخذ بالكاد

يفتح امام الدراسات النظرية . وسرعان ما اقتصرت الرؤية البصرية على ان تكون وسيلة استقصاء من بين وسائل اخرى كثيرة . إن الفصل البصري بين الكواكب والتي صنفها علم الأطياف كمدوجة ، سوف لن تثير أي انفعال . وبقي اكتشاف اقراص سيريس وپروسيون حدثاً استثنائياً : وإذا كانت الدراسات الحديثة « للبارالاكس » قد اتاحت اكتشاف عدد كبير من التقلات الدورية المعزاة إلى اقراص مخفية ، فلم يكن بالامكان أن يحسب - بوئوق - إلا أحجام دزينة منها ، وكان لا بد من الفوتوغرافيا ، ومن مساعدة الشبيحة من عيار 5 أمتار في جبل بالومار حتى يتحقق الاكتشاف البصري الثالث وذلك سنة 1955 .

الميكانيك السماوي : بعد اعمال لاگرانج ولاپلاس اصبح بالامكان التصدي للمشكلة الأساسية مشكلة الميكانيك السماوي : أي وضع نظرية حول الكواكب السيارة بعد اعتبار مجمل اضطراباتها المتبادلة . وهذا العمل حققه لوفريه سنة 1846 حتى وفاته في سنة 1877 . وقد ناقش مجموعة الارصاد السابقة للكواكب ، فحدّد أحجامها ، وعناصرها ، وحسّب جدوالها . ومكنه هذا العمل الضخم من تمثيل الحركات دون ان تظهر بقايا الارصاد الحسية ، ما عدا استثناءات قليلة . والخلاف الوحيد المهم كان يتعلق بكوكب عطارد Mercur الذي قدمت نقطة السميت فيه اسبقية لم يكن بالامكان خفض مقدارها 38" في السنة بالنسبة إلى حركته النظرية . وفي أواخر القرن عا دس . نيوكومب إلى درس الكواكب الأولى الأربعة ، وناقش أكثر من ستة آلاف رصد هاجري . واتخذت مذكرته : « عاصر النجوم الأربع ... » (The Elements of the four inner Planets 1895) التي ظهرت في سنة 1895 كنموذج لكل البحوث اللاحقة في هذا المجال . وأدت اعماله ، في ما خص الثوابت الأساسية ، إلى اعتماد قيم اصطلاحية ما تزال معتمدة حتى اليوم .

إن الحركة ، الغامضة لسمت عطارد ، والتي اكدها نيوكومب ، ورفعها إلى 41" في السنة ، قد اثارت فرضيات مختلفة . ودام البحث لمدة طويلة عن كوكب مشاغب « متداخل مع عطارد » عمد سلفاً باسم فولكين Vulcan ، وقد رسم لوفريه مداره المحتمل . ومن الملاحظ أنه - بحلاف البعض - لم يتفق لوفريه ولا نيوكومب على اعطاء كبير أهمية لتفسيراتهم لهذه الظاهرة . إن نظرية السبيبة وحدها سوف تقدم التفسير المرضي ، كما أنها سوف تجدد في هذه الظاهرة أكثر تبريراتها التحريية شهرة .

إن الطريقة الصعبة حول القمر كانت موضوع العديد من البحوث التي وسعت مراحلها الأبرز بظهور حدالوم . دموروا Damoiseau (1824) وحدالوم ب . هنسن Hansen 1857 ، كما اقترنت بنظرية ج . و . هيل Hill (1877) ، الذي ادخل محاور رجوع متحركة ، وبتبعته في ذلك الاعمال الحديثة ، وبالدراسة التي قام بها ادامس سنة 1853 لحركة الحصبص . حول هذه النقطة الأخيرة قسد التوافق بين النظرية والرصد وقام جدل انتصر فيه ادامس : ان الجزء التجريبي الخالص للتسارع المزمن في القمر ، قد أدّجل بفعل تبدل سرعة دوران الأرض (يراجع المجلّد الثاني ، القسم 3 ، الكتاب 1 ، الفصل 2) .

إن الميكانيك السماوي النظري ، الذي اغتنى بصورة خاصة بأعمال و . ر . هلمتون حول المعادلات المعمومية (1834) وأعمال ش . جاكوبي حول احتزال نظام المعادلات التفاضلية التي تؤدي إليها مشكلة « الأجسام الثلاثة » (1844) ، مدين لهنري يوانكاربه بإمكانية توجه جديد . ومن اعمال

بوانكاريه، المكثفة جداً بحيث تستعصي على التحليل هنا ، أننا لن نذكر إلا المذكرة صدرت سنة 1889 بعنوان : « حول مسألة الأجسام الثلاثة » ومعادلات الديناميك : في هذه المذكرة التي يمكن ان نعتبر من ذرى الفكر الرياضي قصديبوانكاريه دراسة التلاقي المحتمل في تطورات تقليدية مستخدمة من أجل حل المعادلات في مسألة الأجسام الثلاثة . وناطلق من الحلول المرحلية التي اوجد نظيرتها للنسابة ، حتى توصل إلى استنتاج غير متوقع : إن السلاسل متفارقة ، أو على الأقل لا يمكنها أن تتمتع بخاصية التلاقي الموحد . وفي الطريق اكتشف وجود ثلاث طبقات من الحلول المرحلية ، كما تحيل نظرية المشتقات المتميزة، وكما ادخل في البحث عنها الفكرة الجديدة فكرة معادلة المتغيرات ، كما اكتشف وجود الحلول التماسية ، وبني نظرية الثوابت المتكاملة ، كما وضع أول حجر في النظرية الطاقية ergodique ، فضلاً عن نتائج أخرى أساسية مثل اثبات عدم وجود متكامل تحليلي موحد وجديد في مسألة الأجسام الثلاثة ، أو توسيع قاعدة كوشي المتعلقة بالمعادلات التفاضلية .

وقلما استغلت أعمال بوانكاريه التي جمع قسم منها في كتاب « المناهج الجديدة في الميكانيك السموي » (1892 - 1899) . وظل الميكانيك السماوي في الحالة التجريدية التي كانت سائدة في بداياته ، كما يشهد بذلك أن الكتاب الكبير الذي وضعه ف تيسران Tisserand (1889 - 1896) ما يزال حتى الآن الكتاب الأساسي بالنسبة إلى الممارس . وبمعالجة المسائل بكل عموميتها فتح بوانكاريه السبيل الوحيد الممكن أمام التقدم .

VII - الدراسات الفيزيائية في النظام الشمسي

إن الرصد البصري للقمر والكواكب وتوابعها وللمذنبات كان موضوع عدد ضخم من الأعمال التي قلما يبرز أثرها في تقدم علم الفلك . ولن نقف بشكل خاص إلا عد الدراسات الجغرافية القمرية sélénographiques .

لقد ساهمت خارطلات شروتر Schroter (1791 - 1802) وأعمال و. بير Beer ومادلر Mädler (1834 - 1837) وأعمال ج. شميدت Schmidt (1878) على تثبيت الجداول القمرية . وحلت الفوتوغرافيا محل الرسم بصورة عاجلة . وقدم « الأطلس الفوتوغرافي للقمر » (1896 - 1910) الذي وضعه لووي Loewy وبويوز Puiseux ، والمأخوذ عن كليشيات أخذت بواسطة المرصد الاستوائي الملكي من عيار 60 سنتيم في باريس ، لدراسة محيط القمر ، وهي مستندات ما تزال ذات قيمة حتى اليوم . أن المعلومات المنبثقة عن الرصد البصري لم تحل من أخطاء ، ودراسته دراسة نقدية صعبة . ومن بين الأوهام البصرية هناك الوهم المتعلق بقنوات المريخ Mars وهو شهر ، وكان سيكي أول من أعطى في سنة 1859 اسم قناة ، لبعض الخطوط المستقيمة المشاهدة على صورة الكوكب . وجذبت أرصاد شياپارلي Schiaparelli انطلاقاً من سنة 1877 ، الانتباه حول هذه الأشكال الهدسية وقامت فرضيات مغالية في الخيال حول منشأها . وقد دلت الأرصاد اللاحقة فيما بعد على طبيعتها الخيالية .

وظبق نظام سبكتروغرافيا على المذنبات في سنة 1864 من قبل دوناتي Donati الذي استطاع أن يتعرف على المفعول الخاص بالتأجيج الذاتي ، ثم تلاه في سنة 1868 هوجيز Huggins الذي اكتشف وجود المركبات الهيدروكربونية .

واتاحت الفوتومترية ل. ج. ب. بوند G.B. Bond، في سنة 1860، ثم لزولنر Zöllner، ابتداءً من سنة 1865، أن يجربا القياسات الأولى للبيدو Albedo الكواكب، وهو الجزء من الضوء الآتي، والذي يعكسه السطح. أما القيم التي حصلت بالنسبة إلى المريخ والزهرة والمشتري فقد كانت قيمتها زائدة بمقدار الثلث، وسطيّاً.

النجمة الشاهد : الشمس : إن الشمس هي الكوكب الوحيد الذي يمكن رصده بشكل ظاهر بصرياً. فالظواهرات البادية على الشمس ذات أهمية رئيسية بالنسبة إلى النظريات المتعلقة بالتكوين الفيزيائي للنجوم.

والرصد البسيط البصري يتيح الحصول على معلومات مهمة. ومن العجيب أن لا تكون هذه الأرصاد قد نظمت بشكل جدي إلا في القرن التاسع عشر. وقد بدأ الرصد بدراسة البقع في الشمس. وقد أجرى هـ. شوابي Schwabe وهو فلكي ألماني هاو، ابتداءً من سنة 1826 احصاءً يومياً لعدد البقع المرئية. ومنذ 1843 لاحظ أن هذا العدد يتغير اجمالاً بشكل منتظم ووفقاً لحقبة مدتها عشر سنوات. وقد توضحت هذه الحقبة من قبل ر. ولف Wolf، من بارن Berne وجعلت (11,1) سنة. وهذه هي الدورة غير العشرية، التي عرفت في سنة 1851 علاقتها بدورة النشاط المغناطيسي الأرضي.

وبفضل استعمال الفوتوهليوغرافيا توضحت الاحصاءات اليومية لعدد البقع وسطحها الاجمالي بشكل منهجي، كما هو جاري حتى اليوم في مرصد غرينتش وزوريخ.

وتابع ر. ش. كارنغتون وج. سبورر Spörer دراسة البقع. فقد تقرر على يد الأول، في سنة 1859 وتوضيح على يد الثاني، انه بعد تضاؤل الدورة، تظهر البقع من جديد بعيداً عن خط الاستواء الشمسي ثم تأخذ بالاقتراب منه بصورة تدريجية فتصله عند حدها الأدنى التالي وهذا ما سمي بقانون سبورر Spörer. بين كارنغتون أن حقبة دوران نقاط سطح الشمس تتزايد بمقدار ارتفاعها ووضع في سنة 1863 قانون هذا التغير. وحدد الحقبة اليومية الدورانية، لدوران خط الاستواء بـ (25,4) يوماً كما قدم عناصر موقع محور دوران الشمس بقيم ما تزال مستعملة اصطلاحاً حتى اليوم، وهذا مثل نادر على الاستمرارية بين الثوابت الفلكية.

اثناء الكسوف الكلي للشمس يتنطى سطح الفوتوسفير، وهو المصدر الرئيسي للضوء، فيمكن مشاهدة الأقسام الأخرى من الشمس : اي الكروموسفير، بشكل حاشية براققة وردية ينبثق عنها حديدات والتاج وهو حالة بيضاء. وفقط اثناء كسوف 1842 - 1851، اللذين رؤيا في اوروبا، تمت البادرة بأجواء فحس دقيق للظاهرة. وتم وضع نقطتين : ان الحديدات انبثقت عن الكروموسفير، أما التاج فهو عنصر تكويني في الشمس (وليس هو اثر ظاهر) من جراء الانتشار). إن التحليل الطيفي بعد أن تأسس بناء على رصد الشمس، قد اتاح فيما بعد دراسة مختلف عناصرها ثم التحرر تدريجياً من ضرورة عدم التصرف إلا عند الكسوفات الكاملة، وهي نادرة، وموضعية ولا تلوم إلا بضع دقائق.

وكانت في المرحلة الأولى الحديدات التي شاهدها، في سنة 1868 ج. جانسن، ثم ن. لوكير، وهي التي دلت على أن الطيف يمكن أن يتحصل خارج الكسوفات، وذلك عن طريق معالجة الشق معالجة

معينة . وتم تمييز الخطوط اللامعة من الهيدروجين ، مع خط اصفر مجهول الهوية . وأتاح استكشاف الحدية من خلال الشق إعادة تكوين بنيتها ، كما اشار إلى ذلك لوكير في سنة 1869 . ويتشجع من سيّحي ، قامت جمعية الطيفيين الايطاليين بدراسة الصور الطيفية لطرف الشمس ، بشكل دائم وبهذا الأسلوب .

وفي سنة 1869 ، تم الحصول على طيف التاج اثناء حدوث كسوف شوهد في الولايات المتحدة من قبل و. هركنس Harkness و.س. آ. يونغ . وبدأ هذا الطيف بشكل شعاع براق اخضر لم يدخل في الطيف الشمسي ، وقد عزى إلى عنصر بسيط وخيالي هو « الكلورونيوم » . ونعرف الآن ان هذا الشعاع هو في الواقع بسبب وجود حديد شديد الثابت ومنذ سنة 1930 فقط اصبح رصد التاج ممكناً خارج أوقات للكسوف .

وفي سنة 1870 ، واثناء كسوف شوهد في اسبانيا تمكن س. آ. يونغ من رصد طيف الكروموسفير بشكل متوقع لطيف برك ، أي خطوط براقية تحمل تماماً عمل الخيوط الامتصاصية خلال الثواني القليلة التي يكون فيها الفوتو سفير مغلف دون أن يكون الكروموسفير مغلف بدوره . ويحدث الفوتوسفير عادة الأساس المستمر البراق ، وفوقه تترجم الخطوط الراكنة بفعل التضاد ، الانبثاق الكروموسفيري . ويحدث هذا الانبثاق في الطبقة القلابة التي حدد رصد يونغ موقعها في اسفل الكروموسفير كما ثبتت من قلة سماتها ، التي قيست بالزاوية بفعل المسافة التي حققها القمر اثناء الظهور الخاطف للطيف البرقي .

إن طيف الكروموسفير يقدم خطاً اصفر ، سبق ورصد في طيف الحدبات ولا يظهر في الطيف الشمسي . وبفضل فريدة أوفر خطأ من فرضية الكورويوم ، عزى هذا الخط من قبل لوكير ، إلى عنصر بسيط جديد هو الهليوم . وبعد مضي خمس وعشرين سنة ، تماماً ، امكن عزل هذا الغاز النادر في المختبر .

إن مسجلات الصور الطيفية الشمسية (spectrohéliographes) المحففة في سنة 1891 ، من قبل ه. ديلاندر Deslandres في ميدون ومن قبل ج. ه. هال Hale في شيكاغو اتاحت في بادى الأمر تصوير الحدبات خارج الكسوفات : فأمام البلاك الفوتوغرافية ، يعزل الشق شعاعاً من طيف الحدية ، وتقوم حركات مناسبة في الشبكية وفي البلاك بتكوين صورة المنطقة المستكشفة فوق البلاك . ولما كانت العملية تتم في ضوء مونوكرومي واحد (أي لون واحد فقط) فانها تستبعد مجمل اشعاع الفوتوسفير ، وهكذا تنطبق على كل شعاع كروموسفيري . وتمكن هال من تحقيق صور فوتوغرافية للسطح الكامل للكروموسفير بواسطة هذا البدء . إن هذه الصور الشمسية الطيفية ، المسجلة بانتظام سوف تشكل بعد ذلك واحداً من اثنى عناصر التوفيق من اجل دراسة الشمس فيزيائياً .

إن الدراسات النظرية حول تركيب الشمس قد تعددت جداً . في وقت كانت فيه بنية اللزرة مجهولة ، كما كانت مجهولة فيه قوانين التشعيع ، وحيث كانت التقديرات لدرجة حرارة الشمس السطحية تتراوح بين 1500 درجة إلى عشرة ملايين درجة . وإذا قلنا كانت الدراسات تعطي نتائج إيجابية . إن منشأ الحرارة الشمسية قد أثار العديد من البحوث . ومن بينها البحث الذي قام به بويه

(Poutlet) في سنة (1837) ثم قبول Violle في سنة 1875 . وقد قام هذان بقياس (الثابت الشمسي) الذي يترجم الطاقة المتلقاة من قبل الشمس ، والتي تعادل 2 كالوري صغيرة بالدقيقة وبالسنتيمتر المربع . إن الطاقة الكاملة الصادرة هكذا ضخمة . وطرح مسألة مصدر هذه الطاقة ، والوقت اللازم لها لكي تنفذ . واتاحت نظرية هلمولتز Helmholtz (1854) المؤسسة على فرضية التفصل التدريجي للكتلة الشمسية ، تأمين بث الشمس طيلة 50 مليون سنة وهذه الفترة كانت اطول من الفترات التي قادت إليها النظريات الأخرى ، ولكنها بقيت قصيرة جداً في نظر علماء الجيولوجيا . وبعد اكتشاف الراديو فقط تم استلهم فرضيات أكثر وثوقاً .

من نظرية فاي Faye (1865) حيث اعتبرت الشمس كماينة حرارية ، بدا الرأي المتعلق بالبقع الشمسية محكماً حتى عهد قريب : إن الأعاصير العمودية تختص المادة المنبثقة عن الطبقات العميقة ، وتبرد هذه المادة بالتمدد ، فتأخذ مطهراً داكناً إذا قورنت ببقية الفوتوسفير . ومنذ عهد قريب يفضل البعض عزو البقع الشمسية إلى ظواهر مغناطيسية .

وفيها خص داخل الشمس بدت الدراسة التي قام بها ج. هومر لان Homer Lane ، في سنة 1870 ، ولمدة طويلة مجرد غريب حسابي بسيط . لقد اعتبر الكاتب كتلة الشمس مكونة من غاز مكتمل متوازن ثابت الحرارة ، وهذه الفرضية كانت غير واقعية . وفتح اكتشاف النجوم العملاقة ، في سنة 1913 المحالّ التطبيقي امام النظرية . وفي سنة 1924 لاحظ ادوينغتون Eddington ان الشمس بذاتها تتوافق مع هذه النظرية : إن المادة في حالة التأين الزخيم ، تنصرف كما لو كانت غازاً مكتملاً . إن درجة الحرارة المركزية البالغة عشرة ملايين درجة ، والتي توصل إليها لان Lane ، هي الدرجة المقبولة حالياً .



إن تطور علم الفلك ذو علاقة وثيقة بتقدم العلوم الرياضية والفيزيائية وحتى الكيميائية . وإذا كان يخرج عن نطاق هذا البحث ، ان محلل المساهمات التي قدمتها البحوث الفلكية في القرن التاسع عشر لهذه العلوم ، فقد يبدو من المديد التذكير ببعض من آثارها البعيدة . « إن الوظائف » التي ابتكرها بيسل Bessel ، سنة 1817 ، فيما يتعلق بنمو الشعاع السهم ارض - شمس ، ويتأثر من قوى لزوع عن المركز ، هي اليوم ، ضمن جداول ، فوق مكتب المهندس الكأرون . والسيطرة على انصسوعات الصناعية ترتكز على نظرية الأخطاء التي (أي النظرية) ادخلها غوس في كتابه (نيورياموتوس) (1809) . أن تثبيت الصور الفوتوغرافية بواسطة هيبوسولفيت Hyposulfite الصودا هو طريقة يعود الفضل فيها إلى ج. هرشل (1839) . وعبر حدة أو نوء شمسي اكتشف جانسن في سنة 1869 أول مظاهر الهليوم ، وهو الغاز الذي سوف يستعمل فيما بعد لنفخ دواليب السيارات .

وفي النصف الأول من القرن عيز علماء الفلك باكتشافات باهرة . واصبحت اساء هرشل وبيسل ولوفريه ، وغيرهم كثر معروفة على الصعيد العالمي . اما الذين تلوهم وحملوا المعلومات لنقلها

إلى خلفائهم ، فقد خساتهم الشهرة : إن اعاضهم امثال ارجيلندر Argelandre أو بيكرنغ Pickering ، المجهولين من الجماهير . ولم يحفظ الجمهور عن جانسن الا هرويه بالبالون من باريس المحاصرة سنة 1870 (علماً بان السماء الغائمة حرمته يومئذٍ من رصد الكسوف الذي كان السبب في سفره) . وبعد ذلك بقليل ، وبعد اكتشاف عالم ما فوق الثريا تسببت الاكتشافات الجديدة بشهرة اسماء آخرين . ويجدر بنا أن لا ننسى ان البحوث الدؤوبة التي قام بها الأسلاف هي التي جعلت هذه الاكتشافات ممكنة .

القسم الثالث

العلوم الفيزيائية

لقد درسنا سابقاً تطور الميكانيك وعلم الفلك ، ويبقى أمامنا في هذا القسم الثالث ذكر تطور لقطاعات الأخرى من علوم الفيزياء مثل البصريات والسمعيات والكهرساء ، والمخاطيس والحرارة والكيمياء . والخطة التي نتبعها تعالج على التوالي هذه المجالات العلمية المختلفة . إن مظهر هذه الخطة التقليدي - وبصورة خاصة مشابقتها للخطة المعتمدة في المجلد السابق ، بالنسبة إلى القرن الثامن عشر ، تبدو لنا متوافقة تماماً مع عادات الفكر عند معظم الفيزيائيين في القرن التاسع عشر ، كما تتطابق مع بنية التعليم العلمي بخلال هذه الحقبة .

لا شك - كما سنرى في عدة مناسبات - أن مناطق التماس بين المجالات العلمية المختلفة سوف تتكاثر ولكن قلماً دعت الضرورة - إلا في أواخر القرن ، وبعد ظهور وازدهار بعض النظريات الجديدة - إلى وجوب هيكلي جديدة لمجمل العلوم الفيزيائية . وبواسطة العديد من السبل هيأ القرن التاسع عشر هذه الإعادة للتنظيم العام ولكن هذا التنظيم لم ينطلق انطلاقاً مفيدة إلا في السنوات الأولى من هذا القرن . إن ما قدمه القرن التاسع عشر في مجال العلوم الفيزيائية واسع اتساعاً ضخماً . ففي حين حقق علم البصريات الواسع تقدمًا ملحوظاً ، وفي حين تولد قطاع جديد في التحليل الطيفي ، تلفت نظرية الضوء سلسلة من الثورات المتتالية ، بفضل تجدد النظرية التارجحية ثم بفضل انشاء النظرية الكهرومغناطيسية التي قال بها ماكسويل Maxwell . وعلى الرغم من أن علم السمعيات هو علم قاصر نوع ما ، فقد تطور أيضاً على الصعيد النظري والتجريبي .

واستمر علم المغناطيسية والكهرباء الاستاتيقي تقدمهما رغم حداثة نشأتهما الحقبة في القرن الثامن عشر . ولكن اختراع البطارية الكهربائية في مطلع سنة 1800 اطلق ثورة اكبر واضخم بكثير . ويمكن احدث مكاسب القرن التاسع عشر الرئيسية ، في هذا الشأن ، في الوضع النظري والاستثمار التقني ، المتلازمين تقريباً ، للخصائص المختلفة التي قدمها « المسامك الكهربائي » إن أسماه : فولتا Volta ، دافني

Davy ، أورستد Oersted ، أمبير Ampère ، فرايدي Farady ، أوهم Ohm ، و. ويدر W. Weber ، كيرشوف Kirchhoff ، و. تومسون W. Thomson ، ومكسويل Maxwell ، هرتز Hertz ، ج . ج . تومسون Thomson j. ولورانتز Lorentz ليست إلا بعضاً من صناع هذه الملحة الفخمة التي قدمت - بفضل توسيع وتغيير هذا القطاع من الفيزياء - إلى البشرية أدوات جديدة لا مثيل لها .

إن مجال الظواهر الحرارية قد عرف ثورة شه حاسمة تقريباً ، وذلك بفضل وضع مبادئ الترموديناميك وبفضل دراسة الطاقة المشعة ، وهما عصران جديدان انعكس مفهومهما على الصعيد التجريبي وفي مجال التطبيقات العملية . وإذا كانت المراحل الأولى لتطور الآلات الحرارية في القرن الثامن عشر قد كان لها القليل من التطبيقات النظرية ، بالمقابل ، وفي القرن التالي ، أقام إيجاد علم الترموديناميك علاقة وثيقة بين العلم والتقنية .

وعرفت الكيمياء أيضاً ازدهاراً سريعاً جداً ، وُسم أيضاً بتقدمه التقني ، مع ظهور النظرية الذرية الحديثة ، وولادة ونمو الكيمياء العضوية وكذلك العلاقات التي قامت بين الكيمياء والفيزياء والعلوم الحياتية والطب ، ثم التوسع الضخم للكيمياء الصناعية . إن القرن التاسع عشر كمرحلة رئيسية في تطور العلوم الفيزيائية ، قد تميز بأن واحد بولادة ونمو الفيزياء الرياضية ، وبالتقدم السريع في هذا المجال ، وبالتقدم التجريبي الضخم في كل القطاعات ثم بالتطبيق المباشر للتجديدات النظرية الأخيرة على مجمل التقنيات . وبفضل هذا التقدم الملحوظ ساهمت العلوم الفيزيائية بشكل متزايد الفعالية في الثورة الصناعية والتقنية ، مع مساعدتها في هيمنة الأداة الرياضية ، هيمنة متزايدة ، في عالم الفيزياء .

الفصل الأول

تقدم علم البصريات الآلاتي

شهد القرن التاسع عشر اردهاً عجباً في مجال علم البصريات ، بظهوره النظري والتجريبي ؛ وسدات الوقت عملت سلسلة فخمة من الانجازات على تجديد الأسس الذاتية لعلم البصريات السطري . فتحققت انجازات ضخمة في مجال علم البصريات الآلاتي والتجريبي . ومن الصعب توصيح تأثيرات لعبت دوراً حاسماً جداً في هذه الانجازات التي منها نمو التكنولوجيا ونمو الرياضيات أو تطور النظريات . وفي الواقع ، يبدو أن هذه العوامل المتنوعة قد تداخلت بشكل خصب جداً ، بفضل التعاون الواعي أو غير الواعي ، بين العلماء والتقنيين من مختلف المجالات .

وسوف نحاول ، فيما يلي ، استعراض المظاهر الرئيسية لنمو وتطور علم البصريات كعلم تجريبي

I - الفوتومتريا

إن بدايات هذا العلم تعود إلى بيار بوغر Pierre Bouguer الذي وضع له ، في سنة 1729 ، أسسه في كتابه المسمى « رسالة بصرية حول تدرج الضوء » . وفي القسم الأول من هذا الكتاب المسمى « طرق قياس قوة الضوء » ، أشار إلى الشكل الذي تختلف فيه إضاءة سطح بحسب بعده عن مصدر الضوء . وأعلن فيه ، وبرر بوضوح كبير ، قانون تغير الإضاءة الذي سماه قوة الضوء ، وذلك تبعاً لعكس مربع المسافة بين مصدر الضوء والسطح المضاء . وهذا القانون هو من القوانين الأساس في الفوتومتريا . أما القسم الثاني المعلن « في الشفافية والكثافة » ، فيتضمن القانون الذي يحمل اسم صاحبه ، والذي يشير إلى أن اللوغاريتمية يجب أن تظهر دائماً في كل الأجسام (سواء كانت شفافة أو غير شفافة) ، تضاؤل النور » . بعد هذا قارن بوغر في ما بين مصادر الضوء الاصطناعي والطبيعي المختلفة وعرف زحماً . واخترع هو الفوتومتر سنة 1748 ، ولكن اختراع الهليومتر في نفس السنة هو الذي جذب انتباه معاصريه .

وشاهد القرن التاسع عشر تطور العديد من الفوتومترات ، وكان أغلبها يستخدم العين كمتلقي وبالتالي فهو محدود فقط بالقسم المنظور من الطيف . وفي أواخر القرن فقط ظهرت الفوتومترات الفيزيائية .

إن الفوتومترات الأولى قد ارتكزت على قانون بوغر . إن أعمال مالوس Malus وآراغو Arago ، في مطلع القرن التاسع عشر ، والتي أدت إلى قوانين تغير زخم الضوء المكثف ، قد أتاحت الوصول إلى شكل جديد من الفوتومتر ، مستقل عن قانون عكس المربعات . إن الفوتومتر الأول القائم على التكثيف والذي هو من صنع آراغو (1833) استخدم موشورات مزدوجة الجواشي كمكثف ومحلل . وهذا الاستخدام للتكثيف هدفه تنويع الزخم الضوئي ، وقد افاد بشكل خاص في التصوير الطيفي التري (سيكتروفوتومتري) ، حيث يُدخِلُ تغير المسافة تعقيدات كثيرة . ونشير أيضاً إلى فوتومتر ر. بونسن R. Bunsen ، الذي وُصِفَ لأول مرة سنة 1843 ، والذي خصص لدراسات حول المفعول الكيميائي للضوء .

إن تحسين الفوتومترات كان من نتائج تغير المعالم . فاستبدلت الشععة بالللمبة التي قدمها كارسل Carcel سنة 1800 . وفي ما بعد قدمت لمبات الكيروزين ثم الكربون المشع (الهيدروكربون ، 1877) ، ولمبة هفنز Hefner (1884) ، العاملة على « أسيتات الأميل » ، اعتمدت كمعلم للشععة عشرية من قبل مؤتمر الألكتروتكنيك الدولي في جنيف سنة 1896 .

على هذه المعالم غير المرجحة والمحددة بدقة غير كافية ، أدى تطور الترموديناميك ، إلى تفضيل معيار فيول Violle ولو مبدئياً على الأقل ، وتحدد هذا المعيار بمغطس من البلاتين المذاب ، عند درجة حرارة التجمد ، ثم معياراً يحدده جسم أسود . ولكن صعوبات التنفيذ لم تمنع هذا التقدم المهم إلا منذ عهد قريب .

إن قياسات الفوتومترية لقيت مصاعب لا يمكن إنكارها بخلال القرن التاسع عشر ، وهي مصاعب من أنواع مختلفة ولكنها تتعلق بمبدأ هذه التقنية بالذات . وعلى هذا ومع تقدم التحليل الطيفي ، بدأ مفهوم الضوء الأبيض ، الذي كان حتى ذلك الحين سائداً تماماً ، بدأ بكل تعقيداته . إن توسع الطيف ، وتدخل قوانين الترموديناميك ونظرية الكهرمغناطيسية في الضوء ، وتعقيدات المسائل الفيزيولوجية في الرؤية ، كل ذلك كشف عن صعوبات أخرى ذات أهمية أيضاً ، أدت إلى إعادة النظر بشكل تام بمسألة الفوتومترية ، في محاولة لتحديد مختلف إشكالاتها .

II - التحليل الطيفي

منشأ المطيافية أو السيكتروكوبي spectroscopie : إن إنتاج الأطياف الضوئية بواسطة الموشورات الزجاجية كان معروفاً قبل أن يوضح نيوتون الشروط العملية وقبل أن يفسر هذه الظاهرة ، ظاهرة « التشتت » بواسطة الانكسارية المتنوعة لاختلاف الاشعاعات التي تؤلف الضوء « الأبيض » (راجع مجلد 2 ، القسم 2 ، الكتاب الاول ، الفصل الرابع) في القرن الثامن عشر أدى صنع الشبيحات الأولى التي لا تحلل الضوء إلى تحسين المعدات المستخدمة وإلى معرفة أكثر دقة لظاهرة التشتت .

ففضلاً عن الضوء الأبيض الشمسي ، تم تحليل أنوار أخرى بشكل عفوي ، وفي سنة 1752 لاحظ ث. ملفيل Th. Melville أن طيف لُهب الكحول الملحي قلما يعطي إلا اللون الأصفر .

إلا أن طيف الضوء الشمسي بقي الموضوع الأساسي في الدراسات . وسواد بعض املاح الفضة (مثل الكلورور والتترات) عند تعرضها للضوء كان معروفاً منذ زمن بعيد . وقد حاول العديد من المجريين ومنهم هـ. شولز Schulze في سنة 1727 ، ثم في أواخر القرن الثامن عشر ، تشارلز Charles ، وودغود Wedgood ، وديفي Davy وريتز Ritter أن يعيدوا انتاج الصور الحاصلة في الغرفة السوداء . ولكنهم لم يحصلوا إلا على نتائج تافهة وسريعة الزوال . وفي سنة 1777 بين شيلي Scheele أن المفعول الكيميائي لاشعاعات الطيف كان يتزايد كلما ازداد الانتقال من الأحمر نحو البنفسجي .

الانتشارات الأولى للطيف : في فجر القرن التاسع عشر قدم رصد الطيف الشمسي سلسلة من الأحداث الجديدة ذات الأهمية البالغة . في سنة 1801 ، حسن وليم هرشل Herschel التجارب التي حاولها بعض الفيزيائيين في القرن الثامن عشر ، ودرس الخصائص الحرارية للطيف بواسطة ميزان حرارة حساس جداً ، وبين أن الحمارة تزداد كلما تم الابتعاد عن البنفسجي حتى يصل إلى أقصاه وراء الطيف المرئي من جهة الأحمر . وتجاه هذه الملاحظة غير المتوقعة على الإطلاق ، لاحظ و. هرشل ، وبحث ما يلي :

« من المفيد أحياناً في فلسفة الطبيعة (أي في الفيزياء) أن نشك في كل ما يعتبر ثابتاً ، خاصة إذا توفرت الوسائل لرفع كل شك وإذا كانت في متناول اليد » (تأملات فلسفية ، 1800 ص 255) .

واعتقد هرشل أن هذه الظاهرة سببها اشعاع غير منظور شبهه هو بالحرارة المشعة التي سبق أن درسها نيوتن ولامبير (راجع أيضاً دراسة ج. الارد G. Allard في الفقر 7 من الفصل 6) وبين أن هذه الأشعة كانت معكوسة ومكسورة مثل الضوء المنظور ، وهذه الواقعة ثبتها سوسور Saussure وبيكتت Pictet سنة 1803 . واجري ج. بيرارد J. Bérard . في سنة 1814 وت. ج. سيك Seebeck ، من 1815 إلى 1824 دراسة أكثر تفصيلاً حول هذا الاشعاع . واستعبدت الدراسة انطلاقاً من سنة 1835 من قبل م. ميلوني Melloni بواسطة لاقط شديد الحساسية ، هو المزودج الحراري الكهربائي الذي اخترعه نوبيلي Nobili سنة 1833 . وجمعت النتائج المهمة التي حصل عليها ميلوني في كتاب ذي عنوان إجمالي : « الثلوث الحراري » . ان خصائص هذا الاشعاع قد درست من قبل ج. هرشل (وجود مناطق أقل نشاطاً ، 1840) ، ثم من قبل فوريس Forbes ونوبلوك knoblouch (التكثيف) ، ومن قبل فوكولت Foucault وفيزو Fizeau (التقاطع ، 1847) ، ومن قبل موتون Mouton (قياس أطوال الموجة ، 1879) ، الخ . وفي سنة 1881 أوجد س. ب. لانجلي S.P. Langley لاقطاً أكثر حساسية هو « البولومتر » « bolomètre » ، وهو حلقة كهربائية تتضمن شريطاً من البلاتين الرفيع جداً (في البداية خيط حديد) ، كانت درجة حرارته ، وبالتالي مقاومته تزداد تحت تأثير الاشعاع ، ويتيح « الكلفانومتر » الحساس قياس تغيرات التيار ، المرتبطة بتغيرات درجة الحرارة . وبذات الوقت تثبت استمرارية التدرج بين النور المرئي والشعاع تحت الأحمر بفضل استعمال البلاكات الفوتوغرافية ذات الحساسية الواسعة .

وفي سنة 1801 اسقط الفيزيائي الألماني ج. ريتز طيفاً شمسياً فوق بلاك مغطاة بنيترات الفضة ، فلاحظ أن السواد يمتد إلى ما وراء الطيف المرئي من جهة اللون البنفسجي . وثبت هذا الامتداد الجديد للطياف ، بعد توضيحه على يد ت. يونغ و.و. ولاستون W.Wollaston في سنة 1811 ثم على يد بيرار Bérard سنة 1814 ، ثبت تجريبياً بواسطة الفوتوغرافيا التي بينت الاستمرارية بين هذا الاشعاع والنور المرئي . وعلى موازاة غو الفوتوكيميا وتطبيقاتها البيولوجية (راجع بشكل خاص دراسة ج . ف لروا الفصل 5 ، الكتاب 1 ، القسم 5) اتاحت التقدمات النظرية الربط بشكل نهائي بين فوق البنفسجي وبين الطيف المرئي .

إن وحدة الطيف قد شعر بها بعض الفيزيائيين منذ الارصاد الأولى التي قام بها و. هرشل وج. ريتز ، ولكنها حوربت من قبل آخرين بحاربة حادة . إذ رفض هؤلاء أن يشبهوا هذه الأشعة غير المنظورة (تحت الأحمر وفوق البنفسجي ، بالضوء الملون ، الناشط فقط بالنسبة للعين) . واتاحت النظرية التاراجية في الضوء تفسير هذه الوحدة بضافة طول موجة إلى كل اشعاع : فبالنسبة إلى الأشعة المنظورة بين الأحمر والبنفسجي تبلغ بين (8 و 0 ، 4 و 0) ميكرون . وأبعد من ذلك هناك تحت الأحمر ووراء ذلك هناك فوق البنفسجي . وفي النصف الثاني من القرن ، قدم ماكسويل تفسيراً جديداً كما تدخلت بدات الوقت تأكيدات حاسمة تجريبية . وبعد عدة سنوات تسببت اعمال هرتز بتوسيع جديد في مجال الاشعاعات الكهرمغناطية .

بدايات المطيافية أو (بدايات السبكتروسكوبي) : ولكن إلى جانب هذه البحوث كان الطيف المرئي موضوع العديد من الأعمال التي ادت إلى خلق فرع جديد من الأعمال هو « سبكتروسكوبي » . في سنة 1802 ، وبعد الارصاد التي قام بها و. هرشل وج. ريتز ، لاحظ و. ولاستون ، في الطيف الشمسي ، وجود العديد من الخطوط السوداء التي اعجزه تفسيرها كما عجز عن تقدير أهميتها كاملة .

وقام عالم بصري من ميونيخ. اسمه جوزيف فون فرونهوفر Joseph Von Fraunhofer (1787 - 1826) بتحسين دراسة الأطياف وذلك بابتكاره النمطين الكبيرين من أجهزة الرصد التي استعملت منذ ذلك الحين ، وقدم نتائج كثيرة ومهمة جداً . فوضع موحهاً أمام المؤشور المستعمل كآلة تشييت ثم رصد الطيف الحاصل بواسطة منظار مزولة (أي آلة لقياس الأبعاد) فأوجد بالتالي أول سبكتروسكوب . وابتكر أيضاً آلات أخرى مشتتة هي شبكات التفريق ، المكونة من جملة منتظمة من الشقوق أو من الأشرطة الماكسة) ومن مسافات مظلمة مصفوفة فوق بعضها بانتظام . وقام بعمله بواسطة خيوط رقيقة مشدودة بين شبكتين من الخطوط المتوازية ثم بواسطة شبكات جاجية (أربعة آلاف خط ضمن عرض 1،2 سم) .

إن نظرية تشغيل الشبكات ، القائمة على تشابك الأشعة المنقولة (أو المعكوسة) بواسطة الشقوق المتتالية ، قد وضعها يونغ بواسطة النظرية التاراجية . واستطاع فرونهوفر انطلاقاً من سنة 1815 أن يعود إلى دراسة الطيف الشمسي ، فرصد 576 خطاً أسود أفرد فيما بينها ، معيماً الأكثر أهمية فيها - بعد أن عثر عليها داخل طيف الضوء الشمسي المعكوس من قبل القمر ومن قبل الزهرة - وعينها بواسطة الحروف الأبجدية A ، B ، ... ثم a ، b ، وقاس طول موجاتها بدقة بلغت 1/1000 . ولاحظ

أن الخط الأسود D يحتل نفس الموقع الذي يحتله الخط الأصفر من السوديوم . ولكنه لم يستطع تفسير هذا الحدث . ودرس فروهنوفر أيضاً العديد من الأطياف الأخرى ، فلاحظ وجود خطوط منيرة ضمن الأطياف الحاصلة بواسطة أقواس كهربائية .

إن التقدم في حقل التجريب الذي حققه فروهنوفر والنتائج المهمة الحاصلة جرّت العديد من العيربانيين إلى دراسة الأطياف الأكثر تنوعاً . في حين أن الأجهزة المشتتة كانت تتحسن باستمرار - وقد صنع أول سيكتروسكوب حديث ذي موشورات سنة 1856 من قبل ميرستين Meyerstein - وتراكمت النتائج العديدة والمتنوعة دون فهم للظاهرة بالذات بشكل واضح . وفي سنة 1822 حس بروستر Brewster الجهاز الذي استعمله لمفيل فاحتريع اللبية المونوكروماتية ذات الكحول المألحة . وفي نفس السنة وصف ح. هرشل الأطياف الحاصلة من حراء ادحال املاح معدنية متنوعة في لهب الكحول وبشكل رذاذ . ولاحظ ، أنه « في كثير من الحالات تشكل الألوان المنقلة إلى اللهب بفضل هذه الأسس المتنوعة وسيلة أكيدة وسهلة من أجل اكتشاف كميات صغيرة منها » . إن البدأ الموضوع على هذا الشكل ، مبدأ التعرف على ماهية الأجسام بواسطة اطيافها قد تأكد على يد تلبوت Talbot ، في سنة 1834 ، على نماذج من السترونيوم والليتيوم .

ودرس العديد من المحربين اطياف اللهب والأقواس ، كما درسوا اطياف الشمس والكواكب والنجوم (ان تطبيقاتها على علم الفلك قد درست من قبل ج. ليفي ، في الفصل الثاني من القسم الثاني) في حين كان ويشتون Wheatstone يظن أن خيوط طيف الشعاع الكهربائي مرتبطة فقط بالقطين الكترو (1835) . ذكر ماسون Minson (1851) وجود خطوط مشتركة بين هذه الأطياف المختلفة . وفي سنة 1853 بين أنغستروم Angstrom أن هذه الخطوط السوداء تنأى من الغاز الذي تقدم بداخله الشرارات . وقد جهد العديد من الفيزيائيين ، ولكن عبثاً ، في تفسير خطوط الارسل أو البث أو خطوط الامتصاص ، بواسطة التشابك . وفي سنة 1849 لجأ فوكولت إلى ظاهرة الامتصاص ، إنما على المثل الوحيد ، مثل الخط D .

التحليل الطيفي : أدى اختراع أنابيب جيسلر Geissler إلى تجديد الاهتمام بالسكتروسكوبي ، وابتداءً من 1856 تكاثرت بسرعة ارصدا اطياف الغاز المنشر . واخيراً تم التوصل إلى تفسير إحمالي مرض وذلك في تشرين الأول (اكتوبر) سنة 1859 في مذكرة وردت تحت عنوان « حول خطوط فروهنوفر » وذلك في المجلة الاكاديمية البرلينية : Monatsberichte der Akademie der Wissenschaften zu Berlin . وكان استاذ الفيزياء في هيدلبرغ ومن كيميائي روبرت و. بنسن W. Bensen (1811 - 1899) . وتجد كامناً في هذه المذكرة كل مبادئ التحليل الكيميائي المرتكز على رصد الطيف . وبين المؤلفون أن كل خط في الطيف سبه وجود عنصر معين وبالعكس ، ونجحوا أيضاً في تفسير الظاهرة التي بقيت حتى ذلك الحين غامضة ، وهي ظاهرة انقلاب الخطوط (راجع في هذا الموضوع دراسة ج. الار ، الفصل 6) . لقد ولد التحليل الطيفي (وقامت ادعاءات حادة حول الأسبقية ، بعد نشر اعمال كيرشوف وبونسن ، من قبل أنغستروم ، ومن قبل الفيزيائيين الفرنسيين لصالح فوكولت ، وقامت مطالبات أخرى أيضاً لصالح ستوكس

Stoks ، وتالبوت ، الخ . ولكن إذا بدا أن هذا الاكتشاف كان كامناً في أفكار العديد من الفيزيائيين ، فإن الفضل فيه يعود إلى كيرشوف ويونس الذين استطاعا التعبير عنه بشكل دقيق وعام) ، وأولى نجاحات التحليل الطيفي كانت في سنة 1861 باكتشاف معدنيين جديدين بواسطة طيفيهما : الكازيوم والروبيديوم اللذين سميا بهذين الاسمين سندهاً لحطيهما الأزرق والأحمر . وتلت اكتشافات أخرى : التاليم (كروكس Crookes ، 1861) ، الأنديم (ريش Reich ، ويختر Richter ، 1863) ، الغاليوم (ليكوك دي بوابودران Lecoq.de Boisbaudran ، 1875) ، الهليوم (واكتشف في الطيف الشمسي سنة 1866) ، في حين شرع هوغيتز Huggins بتحديد ماهية الخطوط الرئيسية في الطيف الشمسي سنة (1864) . كما قامت أعمال عديدة لتحليل الأطياف النجمية (راجع دراسة ج . ليفي ، القسم السابق) أو من أجل تمييز وتصنيف انماط الأطياف الأساسية المرصودة (أطياف الغمام ، وأطياف اللمب وأطياف الأقواس وأطياف الشرارات) .

يتوافق مع هذه النهضة في التحليل الطيفي تقدم ثابت في الأجهزة المستعملة وفي السبكتروسكوب وفي الشبكات . وصنع الألماني ف.أ. نوبرت ، وهو صانع ميكرومترات على الزجاج بقصد قياس تكبير الميكروسكوبات ، صنع ، حوالي 1850 ، شبكات تتضمن ستة آلاف خط فوق 2.5 ستم (إن قوة حل الشبكة تتعلق بأن واحد باتساع السطح المخطط وبعد الخطوط) . وتم فيما بعد تحقيق تقدم مهم في الولايات المتحدة حيث بنى ل. م. رودر فورد سنة 1870 أول شبكة قدرتها على الحل تساوي أفضل المنشورات : فهو يتضمن 35 ألف خط مرسومة بالماسة فوق مرآة معدنية عرضها 5 ستم . وفي أواخر القرن التاسع عشر ، بنى ه.أ. رولاند H.A.Rowland شبكات ذات عرض يساوي 15 ستم وتتضمن مئة ألف خط . واستخدم أيضاً شبكات مرسومة فوق مرآيا مقعرة ، فاستطاع بالتالي تصوير الطيف الشمسي في سنة 1897 معدداً أكثر من عشرين ألف شعاع .

الصبغات الطيفية الأولى : إن الدراسات العديدة للطيف والتي حققت قبل عمل كيرشوف ويونس ، قد نفذت في ضوء المبادئ الجديدة . لقد استعمل الفيزيائي السويدي اندرس Anders جوناكس انغستروم شبكة « نوبرت » فحقق أطوال موجات قريبة من مئة خط في الطيف الشمسي . واعتمدت « بحوثه حول الطيف الشمسي » (إيسالا ، 1868) كمرجع طيلة سنوات طويلة . واعتمد اسمه دولياً في سنة 1905 للدلالة على وحدة الطول المعتمدة عادة في السبكتروسكوبي أي في مجال علم تصوير الطيف الشمسي (انغستروم \AA) = 10^{-7} مم) . نذكر أيضاً أعمال ج. بلوكر J.Plücker و هيتورف W.Hittorf وج. كايسر G. J. Kayser وش اكسز C.Exner وك. رونج C.Runge الخ .

وعندما نشر مندلييف Mendeléev في سنة 1869 تصنيفه الدوري للعناصر ، لوحظ أن كل عنصر له طيف يزداد تعقده بمقدار علو مرتبته أو رقمه في التصنيف . ودلت الدراسة الدقيقة لخطوط الهيدروجين ، التي درست من قبل انغستروم ، على أهمية خاصة جداً . فوجود صيغة تمكن من ربط أطوال الموجة بهذه الخطوط كان مقبولاً لدى العديد من الفيزيائيين . وقد بذل ج. ديوار J.Dewar و أ. كورنومو A.Cornu جهوداً نهبت عبثاً في البحث عن اكتشاف هذه الصيغة . وفي سنة 1885 فقط نجح

الفيزيائي، السويسري ج. ج. بالمر J.J. Balmer تجريبياً في إثبات أن الخطوط التسعة التي كانت معروفة يومئذٍ عن طيف هذا الغاز لها أطوال موجة (λ) معينة بالمعادلة التالية :

$$\lambda = h \frac{m^2}{m^2 - 4} \quad \text{حيث } h = 3645.6 \text{ \AA} \quad \text{وحيث } m \text{ تساوي عدداً صحيحاً أعلى من } 2.$$

وقد تم التحقق من هذه الصيغة بعناية فائقة . ودلت الأرصاد الحديثة على ثبوت الخطوط المعادلة للأحد والثلاثين حداً أولياً . في كتابه «بحوث حول تركيب أطيف بث العناصر الكيميائية » (ستوكهولم 1890) . ووسع ج. ريدبرغ Rydberg هذه الصيغة لتشمل عناصر أخرى مستبدلاً طول الموجة (λ) بعكسها (ν) أو عدد الموجات . وهكذا استطاع أن يمثل كل سلسلة طيفية بالفرق بين حدي المعادلة $R / (n - C)^2$; حيث R هي ثابتة شاملة (ثابتة ريدبرغ) $= 109677.7 \text{ cm}^{-1}$. وحيث C هي ثابتة نسبية متعلقة بالسلسلة المدروسة ، وحيث n هي عدد صحيح متغير يتغير كل خط . واستعمل السبكتروسكوبيان الألمان، كايسر Kayser ورونج Runge ، في كتبهما صيغاً مشابهة . وفي سنة 1908 عمم « ريتز » هذه الصيغة بقضيل مبدئه على الخلائط، ولكن بعد عدة سنوات فقط جرت المحاولات الأولى في التفسير النظري المرتكز على الفرضيات الجديدة حول البنية الذرية .

اثر دوپلر - فيزو Doppler - Fizeau : في سنة 1842 بين الفيزيائي النمساوي كريستيان دوپلر Ch. Doppler وجود ظاهرة ، اعيد كشفها في سنة 1848 من قبل فيزو - نظرية سوف يكون لها العديد من التطبيقات المهمة وخاصة في « الاستروفيزيا » . ويقوم هذا الأثر أو « دوپلر » أو « دوپلر وفيزو » على التغير الظاهر في وتيرة نظام موجات تغذيها إما حركة مصدر الموجات أو حركة الراصد بالنسبة إلى مكان الانتشار . هذان المظهران لها طبيعة مختلفة . أحدهما يغير طول الموجة ، والآخر يدخل تغييراً في السرعة الظاهرة . وعلى كلٍ ، ويشأن السرعات البسيطة يمكن تمثيلها للوهلة الأولى . بعد سنة 1848 طبق هونغينز هذا الأثر في قياس سرعة سيريروس Sirius الشعاعية ، ولكن الصيغة الأساسية لم تتحقق تجريبياً إلا في سنة 1914 من قبل فابري Fabry وبويسون Buisson .

III - أدوات البصريات

قلما طبقت النظرية الحديثة في البصريات الهندسية التي اسسها كبلر سنة 1604 (المجلد الثاني) إلا على الوسائل الأكثر بساطة . إن التقدم الضخم الذي حقق في القرن التاسع عشر قد أتاح أن يحل الحساب مكانة مهمة في دراسة وضع واستكمال أدوات البصريات المتزايدة التعقيد . في حين أن أعمال مالوس Malus 1808 وغوس Gauss (1838 - 1841) ، وموبيوس Mobius ، و ليستن Listing 1845 وضعت أسس النظرية القريبة من الأنظمة المركزة ، والدراسات البصرية الفيزيولوجية ، المحكومة بعمل هلمولتز العميق ، هذه الأعمال أتاح فيها أفضل لعملية العين كما وضعت المشكلة المعقدة ، مشكلة الابصار في موضعها الصحيح . فضلاً عن ذلك ، وبذات الوقت الذي استكملت فيه تقنية زجاج الابصار كشف ابصاريون من ذوي الموهبة العظيمة مثل باتزفال Petzval وآ. آبي A. Abbe ، الدراسة النظرية ومزجوها مع التجربة ، منجزين أدوات أقوى وأكثر وضوحاً وأسهل استعمالاً . وكان مجمل هذه العلوم الرضائية يساعد تماماً على صنع هذه الأدوات الجديدة وكذلك على الانتشار السريع

لتطبيقات تقنية جديدة هي الفوتوغرافية .

البدائيات ، والتطبيقات الأولى للفوتوغرافية : وجهت البحوث العديدة حول المقاسيل الكيميائية التي للنور ، والحاصلة في بداية القرن التاسع عشر ، نحو إعادة انتاج الصور التي ظهرت على السطح الأخير الخلفي من الغرفة السوداء .

وفكر المخترع الفرنسي نيسفور نيبس Nicéphore Niepce في تطبيقات الليتوغرافيا الطباعية الحجرية ، فأجرى دراسة منهجية لكل الأجسام الحساسة تجاه فعل الضوء . وفي أيار 1816 نجح جزئياً في تثبيت الصور المتكونة على ورق مدهون بمادة كلورور الفضة . ولكن ، وتجاه عدم اكتمال النتيجة الحاصلة ، جرب عدداً آخر من المواد الحساسة والدعائم ، مع تحسين الصور بفضل اختراع الغشاء الحاجز ذي الفتحة واستعمل صحيفة مغطاة بخمر جودي (Judée) ، وفي سنة 1826 حصل بعد 8 ساعات من العرض ، على أول صورة فوتوغرافية حقيقية - صورة حصلت في الغرفة السوداء فوق سطح حساس تجاه النور الدائم والمستمر المستحدث عن طريق «الهليوغراف» أي «الحفر الفوتوغرافي الشمسي» . ولم ينجح في استثمار اختراعه فاشترك في سنة 1829 مع الرسام الفرنسي لويس داغر Daguerre . وانجز هذا الأخير بعد موت نيبس الحاصل سنة 1833 أسلوباً آخر هو أسلوب التصوير الداغري ، واستعمل كسند حساس صحيفة من الفضة مغطاة بيود الفضة . واستكشف داغر وثبت عن طريق أبخرة الزئبق الصورة الكامنة الحاصلة واستبعد بقايا يود الفضة بمحلول هيبوسلفات الصوديوم . وفي سنة 1839 تبنى لاراغو حمل الحكومة الفرنسية على شراء هذا الاختراع لقاء مذكول لدى الحياة منوح لداغر ولابن ن. نيبس . ولما شاعت طريقة التصوير الداغري نجحت نجاحاً سريعاً

وبخلال بضعة سنوات تحولت هذه التقنية المخبرية التي لم تكن تعطي إلا صورة وحيدة يصعب حفظها ، تحولت إلى طريقة بسيطة قليلة الكلفة . وحسن الانكليزي تالبوت النتائج التي حصل عليها منذ 1835 وحقق « النيكاتيف » على الورق ، وانطلاقاً من هذا « النيكاتيف » أصبح بالإمكان سحب نماذج من الصور بمقدار الرغبة . وامكن تحسين هذه الطريقة عن طريق تصوير « النيكاتيف » فوق صحيفة من الزجاج مغطاة بالاليومين (نيبس دي سان فكتور ، 1847) ثم باستبدال الألبومين بمادة الكولوديون والجيلاتين ، وذلك باستعمال فيلم السللويد الخ .

وأتاح الحصول على طبقات حساسة متزايدة السرعة الحصول على صور آنية . وهذه التقنية الأخيرة مكنت الفلكي جول جانسن Jules Janssen من الحصول ، على سلسلة متتابعة من الصور الفوتوغرافية لكوكب الزهرة عند مرووره في سنة 1874 ، وذلك وفقاً لأسلوب مكن ، بعد تحسينه من قبل الأميركي مويريدج Muybridge ومن قبل الفرنسي ج. ماري J. Marey ، من استباق اختراع السينما الفوتوغرافية في آخر القرن .

وبعد عدة محاولات جرت في سنة 1851 من قبل نيبس دي سان فكتور . Niepce de St . Victor ، امكن تحقيق الفوتوغرافية بالألوان بأسلوب ثلاثي التلون وذلك سنة 1868 بفضل ش. كروس Ch. Cros ول. ديكوس دي هوروز L. Ducos Hauron . وفي سنة 1893 انجز ج. ليمان

G Lippman طريقة اصيلة جداً مكتنه من الحصول على جائزة نوبل (1908) . وترتكز هذه الطريقة على تكوين طبقات رقيقة جداً من القصة داخل القشرة الفوتوغرافية ، وهذه الطبقات مفضولة عن بعضها البعض بنصف طول موجة تبثها موجات متوقفة تعكسها مرآة من الزئبق توضع فوقها الغشاة الحساسة وبواسطة الضوء المعكوس يرى اللون المطابق للموجة والذي أثر في القشرة . ورغم جودة هذه الطريقة فقد استبدلت بغيرها من الأسهل استعمالاً . وبعد ظهورها بدت الصفيحة الفوتوغرافية وبأن واحد موضع استقبال مفيد للضوء وكوسيلة استقصائية علمية لا مثيل لها . ومنذ 1842 صور ي بيكريل Becquerel في فرنسا وج. و. دراير J.W.Draper في الولايات المتحدة الطيف الشمسي مثبتين وجود خطوط فرونهوفر في القسم فوق البنفسجي . واثاح استعمال مواد ملونة خاصة وطبقات نشيطة أكثر سرعة وحساسية فوق اشطرة عريضة من الاشعاعات ، اتاح « للسبكروسكوبي » أن تقدم سرعة . واستفاد علم الفلك من هذه التقنيات الجديدة كما أنه ساهم في تحسينها مساهمة ناشطة . واعتمد علم الفلك أيضاً الفوتوغرافيا في ادوات الرصد مخففاً بصورة تدريجية دور الارصاد البصرية . وتم تصوير الشمس فوتوغرافياً لأول مرة من قبل فوكولت وفيرو Fizeau سنة 1845 ، كما تم تصوير القمر من قبل بوند Bond سنة 1850 ، وكذلك المراحل المتتالية لكسوف الشمس من قبل و. دي لارو W.Delarue في سنة 1860 الخ . (درست تطبيقات الفوتوغرافية على علم الفلك من قبل ج. لبي في الفصل 2 من القسم 2) .

واستعملت الأساليب الفوتوغرافية مباشرة أو معدلة لتلائم مع الفحص الميكروسكوبي ، وفي آخر القرن استعملت من أجل تحليل الحركة ، وهكذا جذدت في علوم الرصد ، تقدمت وسائل الفحص الموضوعية ، الأكثر قوة من الرصد المباشر .

تحسين الشبحيات الفوتوغرافية : أدى تقدم الفوتوغرافيا إلى تحسين الشبحيات الفوتوغرافية . إن العدسة البسيطة غير المميتة للألوان استعملت في الغرفة السوداء قبل اكتشاف الفوتوغرافيا بكثير . ووضعت اغطاط داغر « الداغروتيب » على أساس شحبة بسيطة صممها ش. ل. شيفالييه C.L.Chevalier (1830) قادرة على تنظيف الألوان ومكوسة من عدستين ملصقتين ، احدهما من « الفلنتيغلاس » والثانية من « الكراون » « Crown » . ورد هذا النموذج إلى شكله الحالي بفضل ت. غراب T.Grubb (1857) ، في حين جعل ج. هـ. دالمير Dallmeyer (1865) العدسات الملصوقة ثلاثاً . وكانت عطاط « الداغروتيب » طويلة جداً لأن الشبحيات المستعملة كانت مصنوعة بقوة بالخواجز ، حتى لا تتشوه الصورة التي تعطيها الشحبة بالزيغان وكان ج. م. بتزفال J.M.Petzval ، الأستاذ في جامعة فيينا أول من قام ببناء شبحيات بناءً على حسابات مسبقة ، وليس فقط بناء على التلمس إن الشحبة (او الجسمية) ذات الصورة الابتدائية التي وضعها بتزفال والمحسوبة حوالي سنة 1840 ما تزال مستعملة بعد تغيير بسيط أدخله عليها العديد من المصورين . إلا أن المصورين الفوتوغرافيين لم يكونوا يمتلكون في حوالي سنة 1850 ألا الشحبة البسيطة والشحبة ذات الصورة . وفي حوالي 1860 حقق ش. آ. ستهيل C.A.Sternheil « الايلانات » Aplanats وهي شبحيات ذات حقل واسع وبمنجاة من لزيغان وملامعة لفوتوغرافية المهندس المعمارية ولحجب صور للمستندات . إن مبادئ التصحيح الواجب واللازم ادخاله لتلافي عيب خطير في الشبحيات الفوتوغرافية ، وهو عدم تكون الصورة في البؤرة

« استigmatism » ، قد وضعت منذ سنة 1843 من قبل بتزفال . ولكن للأسف لم تلائم أي من الزجاجات التي وضعت بتصريف النظاراتية الشروط المطلوبة⁽¹⁾ . وفي أواخر القرن اتاح ظهور الزجاجات الجديدة امام ب. رودلف P. Rudolph ، وتشجيع من أ. أبي E. Abbe انجاز الزجاجات المعطلة للاستigmatism (1890) . وهكذا ولدت الشبقيات المصرية .

الميكروسكوب : رغم أن ج. دولون J. Dollond قد حقق ، منذ 1757 شبقيات لمنظار معطل للزيفان الألواني يصحح زيفان الكروية وذلك بمزج عدسات الكرون والفلت (الصوان) ذات الأشعة الاحديدانية المناسبة (راجع مجلد 2 الكتاب 1 القسم 3) ، لم تصنع الشبقيات الأولى للميكروسكوب ، المعطلة للزيفان الألوان ، إلا بعد 50 سنة من قبل الهولندي هـ. فان ديل H. Van Deyl ، على اثر الصعوبة التي اعترضته عند جلي عدسات صغيرة بما فيه الكفاية . وكان لهذه الشبقيات طاقة على التكبير ضعيفة (70 إلى X 80) بسبب الزيفان الهندسي .

وأدخل النظاري الفرنسي ش. شيفاليه تحسينات متعددة . وبين الايطالي أميسي Amici أنه من غير المفيد تنظيف وتضييق كل عدسة من عدسات الشبكية على حدة ، بشرط أن تتعادل . وتكافأ الزيفانات الذاتية الفردية . واستنتج من ذلك أن شبكية الميكروسكوب قد تتضمن أكثر من عدستين أو ثلاث عدسات : إن بعض الشبقيات الحديثة تتضمن ستاً .

وبالتدريج بينت التجربة وجوب وجود علاقة بين القوة الفاصلة وزاوية الفتح . وبذل أميسي وج. ج. ليستر ، وهو أحد مؤسسي الجمعية الملكية للميكروسكوبية ، الجهد من اجل زيادة زاوية الفتح في شبقياتهم . واتجه خلفاؤها إلى المبالغة في تطبيق هذا المبدأ مما زاد ، زيادة مهمة ، في الزيفان الهامشي . وفي سنة 1850 ، ادخل أميسي التفتيش بالماء ، وفضله استطاع التوصل إلى زوايا فتح أكبر مما يتيسر بواسطة النظام الناشف . وقد سبق ، في سنة 1678 ، أن لاحظ ر. هوك وجود جسيمات ميكروسكوبية في الماء ، بواسطة ميكروسكوب بسيط كانت عدسته تلامس سطح الماء ، ولكنه افترض أن التحسن في الصورة يعزى إلى أن ملامسة العدسة للماء تزيل السطح الكاسر للضوء .

وابتداءً من سنة 1866 ، نجح صانع الميكروسكوبات كارل زيس Carl Zeiss ، في جذب اهتمام ارنست أبي إلى مشاكله . فاهتم هذا الأخير بدراسة تشكل الصور داخل الميكروسكوب ودرسه بعمق . وعرف أهمية زاوية الفتح وأدخل فكرة الفتح العددي المنور . وكانت النتيجة المنطقية لهذه البحوث تطور التفتيش المنسق . وفي سنة 1883 تم انجاز أول شبكية أبوكروماتية (أي مزيلة لتحليل اللون الأبيض) . وكانت هذه الشبكية مصححة بشكل يقضي على الزيفان الناتج عن الكروية ، وبالنسبة إلى كل الألوان . والشبقيات الفضل الحالية مشتقة منه .

(1) كان الحصول على زجاجات بصرية عدة ذا أهمية رئيسية في تحقيق أدوات البصريات . ومن المفيد ان نلاحظ ان الصناعة المصرية لزجاجات الابصار في فرنسا وفي ألمانيا وفي انكلترا قد قامت على شخص واحد هو ب. ل. غينان (1745 - 1825) ، من أصل سويسري ، ثم شارك « غرويهوفر » في بافاريا . وأسس ابنه هـ. غينان في فرنسا سنة 1826 مصنع الزجاج الابصاري الكبير المعروف اليوم باسم بارامتوا . وترك أحد شركاء هـ. غينان واسمه ج. بونتان G. Bontemps ، فرنسا سنة 1848 واستقر عند شاتن Chance ، صانع زجاج ابصاري كبير انكليزي استعمل أساليب غينان .

IV — التكتيف والتشتيت

ظواهر التكتيف : ظهر الضوء المكثف في علم البصريات ، في فجر القرن التاسع عشر . فمعد 1669 لاحظ ي . بارتولين E.Bartholin الانكسار المزدوج الذي يصيب الضوء عند مروره في « سيث ايسلندا » . وكان هويجنز : Huygens ، في كتابه « كتاب الضوء » ، 1690 « قد عالج نظريته . إلا أن العلماء ، وحتى مطلع القرن التاسع عشر ، لم يلاحظوا أن تكتيف الضوء كان مرافق أيضاً انعكاسه . وبعد ذلك تطور استخدام الضوء المكثف . وتحقق أول مكثف للضوء في سنة 1828 على يد و . نيكول W.Nicol . وفي سنة 1838 وضع م . سباسكي M.Spasky النظرية . ومن الناحية التطبيقية «بحزت جميع الأجهزة من هذا النوع المستخدمة في القسم المرئي من المشور في القرن التاسع عشر : وهنا نذكر على سبيل المثال المكثف الضوئي (بولارسكوب) الذي وضعه آ . سيك A.Seebeck (1830) ، واللافتة ذات الحجر الكهربائي التي وضعها ج . مولر J.Müller (1835) ، ثم ادخال المعدل من قبل بابنيت Babinet ، (1841) ثم المكثف المسمى مكثف نورنبرغ (1858) Nörenberg

إن استخدامات الضوء المكثف عديدة . في سنة 1811 ، اكتشف آراغو Arago أن صفحة من الكوارتز العامودي على المحور البصري تؤثر في الضوء المكثف ، ولكن ج . بيوت J.Biot اكتشف سنة 1812 أن هذا المفعول المسمى التكتيف الدائر ، يقوم ، بالنسبة إلى الضوء المونوكروماتيكي ، بتدوير للذبذبة الضوئية فوضع قوانين هذه الظاهرة (لقد درست مسائل الأبصار البلوري من قبل ج . اورسل Orcel . الفصل 1 ، القسم 4) . وتصف بلورات الكوارتز ضمن فئتين بحسب اتجاه هذا الدوران : إلى اليمين dextrogyres وإلى اليسار lévogyres . وفي سنة 1815 اكتشف بيوت وجود وسائل تحدث دوران الذبذبات الضوئية التي تحتازها : مواد نقية مثل روح التريتيت أو روح الحمامض أو محلولات ضمن مذيب غير فاعل مثل الماء ، أو مواد جامدة مثل سكر القصب أو مثل أسيد تارتريك . وعرف أيضاً أن الدوران الذي يحدثه سائل نقي أو ذوب مركز معين يتناسب مع سماكة السائل المقطوع وأدخل العادة التي استمرت وهي عادة تمييز مفعول السائل أو مفعول الذوب بقيمة الدوران المحددة بفضل عامود طوله (1 دسم) . وفي سنة 1825 عرضت نظرية ظواهر التكتيف الدوراني من قبل فرنل Fresnel .

وكان الاكتشاف الأكثر أهمية بعد اكتشاف بيوت هو الاكتشاف الذي قام به لويس باستور ، الذي بين في سنة 1848 أن الأسيد تارتريك قد يوجد بشكلين ، ويحدث دورانات متساوية في عددها المطلق وباتجاهات متعاكسة ، وعزا هذا الأمر إلى وجود عدم ترتيب (ديسيمتري) في الجزيء . ودلت أعمال باستور ، بعد استكمالها من قبل لوبيل Le Bel وفانت هوف Van't Hoff ، فيما بعد ، على الفائدة من تحديد القوة الدورانية ، من أجل دراسة تكون المركبات العضوية .

الخصائص الابصارية للمعادن : لقد اجتذبت هذه الخصائص انتباه الفيزيائيين في القرن التاسع عشر . وقدم كوشي Cauchy نظرية حول ظواهر التشتت (تغير مؤشر الانكسار في مادة ما تبعاً لطول موجة الضوء) وانتهى إلى صيغة تتعلق بالأجسام الشفافة ، وهذه الصيغة قد ثبتت في العديد من الحالات . ثم ادخل فيما بعد مؤشرات الانكسار المعقدة ، حتى يفسر الانعكاس المعدني . وبين

ج. ش. جامين J.C.Jamin ، وهو رائد في البحوث التجريبية حول الانعكاس المعدني ، إن الصيغ التي وضعها كوشي تمثل بشكل مناسب نتائج القياسات . ووجد أن مؤشر انكسار الفضة يجب أن يكون أدنى من الوحدة . ولكن هذه النتيجة التي لم تكن لتتلاءم مع استقرارية المكان داخل المعدن ، كانت موضوع جدل كبير وقد نجح أ. كوندت A. Kundt في صنع مؤشرات معدنية رقيقة رقة كافية بحيث يمكن للنور أن يخترقها وهكذا امكن اثبات الواقعة .

٧ - سرعة الضوء

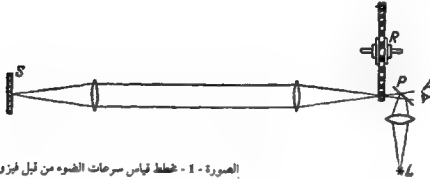
إن تقدم علم البصريات المعدني في القرن التاسع عشر قد استخدم للدراسة سرعة الضوء (c) . وكان هذا الأمر مهماً جداً لإمكانية الاختيار بين نظريتي الضوء اللتين كانتا تتشاطران دعم العلماء : نظرية البث والنظرية الأروحية .

« منذ سوات عدة كان هناك نظامان متنافسان في تفسير الظواهر الضوئية . من بين هذه الظواهر هاك ظاهرة هي الأبسط والأبرز ، أي الانكسار ، وهو ينتج عن تأثيرين متناقضين تحدثهما الأجسام ، بحسب محاولة تفسير هذا الانكسار وفقاً لأحدى النظريتين . وسنداً لنظام البث ، يعزى تغير وجهة الضوء إلى تسارع يحدث عند دخوله في الوسط الكاسر . وفي نظام التاراجع يجب أن يتوافق هذا التغير مع تباطؤ سرعة الانتشار في الشعاع الضوئي » (ل. فوكولت، حوليات الكيمياء والفيزياء مجلد 41، 1853، ص 129) .

وبعد « ويستون » Wheatstone ، اقترح « اراغو » ، في سنة 1838 استعمال مرآة دوارة لاكتشاف الفرق بين سرعات الضوء في الهواء وفي الماء . وفي سنة 1850 ، وصف « ليون فوكولت » Léon Foucault الذي حسن النظام بإضافة مرآة مقعرة ، وصف كيفية تحديد سرعة الضوء في الهواء ، كما وصف مقارنة السرعات في الماء وفي الهواء . وتقوم الطريقة على تحديد ماهية الزاوية التي تدور حولها مرآة (m) ، في دوران سريع ، في حين يجوب شعاع ضوئي ذهاباً وإياباً مسافة طولها عدة أمتار بين (m) ومرآة ثابتة M تعيد الشعاع نحو m . وبدا استنتاج « فوكولت » واضحاً : « أن الضوء يتحرك بسرعة أكبر في الهواء أكثر مما يتحرك في الماء » .

وفي سنة 1849 قاس « ه. ل. فيزو » H.L.Fizeau قياس c بواسطة دولاب مسنن .

وقد وصف مبدأ هذه الطريقة في الصورة رقم 1 : L هو مصدر ضوئي صغير ما أمكن . وبعد الانعكاس فوق مرآة نصف شفافة P ، تتكون صورة لـ L بفضل عدسة أولى وتُقذف فوق دولاب المسنن R . وعندما يدور الدولاب ، تحتاز لمحات خاطفة ضوئية الفجوات الموجودة بين الأسنان وتذهب لتنعكس فوق المرآة S الواقعة على بعد 8633 متراً (لقد أجريت التجربة بين « سورين » و « مونت مارتر ») . وقد كان على الضوء المعكوس من قبل S أن يجتاز فجوة حرة بين سنين من خلال P قبل أن يصل إلى عين الراصد . وإذا جاء بين ذهاب الضوء ورجوعه ، ذهاب من R ورجوعه إلى R ، لم يحتل مكان فجوة حرة فإن الراصد لا يرى إلا الظلمة . ونظراً لمعرفة سرعة دوران الدولاب (12.68 دورة في الثانية) وعدد أسنان الدولاب (720) ، والمسافة المقطوعة من قبل الضوء (8633×2) استطاع « فيزو » الحصول على $c = 315\,300$ كلم في الثانية .



الصورة - 1 - مخطط قياس سرعات الضوء من قبل فيزو

في سنة 1879 ادخل كورنو Cornu تحسينات على طريقة فيزو وذلك برفع المسافة إلى 23 كلم والسرعة في دوران الدولاب المسنن إلى 1600 دورة في الثانية مما اتاح له الحصول على نتيجة تساوي : $c = 300\,030$ كلم في الثانية .

وادخل قياس c تأكيداً آخر للنظرية التارجحية التي تفترض وجود « اثير » . وفي سنة 1818 بين فرنل Fresnel ان سرعة الضوء في جسم متحرك تختلف عن السرعة الحاصلة في نفس الجسم وهو ساكن . وثبتت فيزو من ذلك سنة 1851 .

ولا يمكن انهاء هذا الفصل دون التذكير بالتجارب الشهيرة التي قام آ. م. ميكلسون Michelson بواسطة الفارز « الانترفيرومتر » الذي ابتكره . والقصد كان التثبت من ان « الاثير » يمكن أن يحدث في انتشار الضوء زيقاناً شبيهاً بالزيفان الذي لاحظته فيزو فيها خص الأوساط « المادية » . إن التقرير عن هذه التجربة الذي نشر سنة 1881 اعلن عن نتيجة سلبية ، الأمر الذي يؤدي كما نعلم إلى نظرية النسبية (راجع بهذا الشأن دراسة مدام م . آ . تونيلا في الفصل اللاحق) .

الفارز أو الانترفيرومتر : لقد شاهد القرن التاسع عشر ولادة عدد كبير من الانترفيرومترات . انها اجهزة مرتكزة على تداخل وتفاعل الموجات الضوئية وغايتها قياس المسافات القصيرة ، ذات الأطوال من موجة الاشعاعات المستخدمة لانارة الجهاز . وأطوال موجة الضوء المرئي هي من عيار نصف ميكرون (أي 5 على عشرة آلاف من الملم) ($5/10\,000$ mm) ويمكن تصور امكانية قياس الأطوال الضعيفة بهذه الوساطة . والنظام الذي استخدمه يونغ في تجاربه الشهيرة هو « انترفيرومتر » وكذلك المرايا والموشورات المزدوجة التي وضعها فرنل . وقد استخدمت اجهزة مشابهة في بساطتها ولكنها اسهل استعمالاً لدراسة التشوهات الصغيرة في السطوح ، مثاله كيفية تمدها (فيزو) . كما تم انجاز اجهزة اخرى تعطي حواشي وهدياً أكثر دقة ونعومة . ويستخدم اليوم « انترفيرومتر فابري وبير » الذي وصف لأول مرة سنة 1896 ، في العديد من مجالات الفيزياء وخاصة في مجالات « السبكروسكوبيا » حيث يتيح دراسة هيكلية متناهية الدقة في الأطياف الذرية . ونشير أيضاً إلى ظهور جهاز زندر Zehnder سنة (1891) الذي يستعمل بشكل عادي ، بعد تعديل قليل في شكله ، في المنافذ لدراسة « ماكينات » الطائرات .

وهناك تطبيق مهم لمدخلات الأضواء اشير إليه في مذكرة حول « امكانية الحصول على طول موجة ضوئية كمعيار اساسي للطول » نشرت سنة 1889 من قبل ميكلسون Michelson ومورلي Morley ، وفي سنة 1892 ، قاس ميكلسون المتر المعياري (وقد سمي يومئذ النموذج) بأطوال الموجة ، بواسطة الانترفيرومتر الذي وضعه . وبعد ذلك درست المسألة كثيرا . وفي سنة 1960 تم استبدال المتر المعياري بطول الموجة ، فتوج ذلك البحوث التي اقيمت منذ ستين سنة .

الفصل الثاني

تطور نظرية الضوء

تقدم علم البصريات الفيزيائية في مطلع القرن التاسع عشر: توماس يونغ Thomas Young وأ. ل. مالوس E. L. Malus: إن يد النظريات التاراجحية قد تم اعداده عن طريق اعمال مهمة تجريبية تحققت في النصف الأول من القرن التاسع عشر. منذ سنة 1801 استعاد توماس يونغ (1773 - 1829) دراسة المسدب السبي تحدثها الشفرات الرقيقة ، فاعلن عن مبدأ التداخلات . وهذا المبدأ ربما أوحث به ظاهرة الضربات : « عندما يصل قسمان من نفس الضوء إلى العين عن طريقين مختلفي الاتجاه وقريبين جداً ، يبلغ الزخم مداه عندما يكون فرق المسافة المقطوعة هو عدد مضاعف الطول . ويبلغ هذا الفرق أدناه في الحالة الوسط » (توماس يونغ في « تأملات فلسفية » ، 1802) .

وقد سبق أن ظن غريمالدي Grimaldi أنه رصد ظاهرة مماثلة ولكن الجهاز الذي استعمله لم يكن يحدث الا هدباً انتشارية انحرافية . ولأول مرة لوحظ فعلاً ، وبحسب عبارة أراغوان « الضوء إذا اضيف إلى ضوء آخر ، يمكن أن يحدث ضمن شروط ملائمة عتمة وظلاماً » .

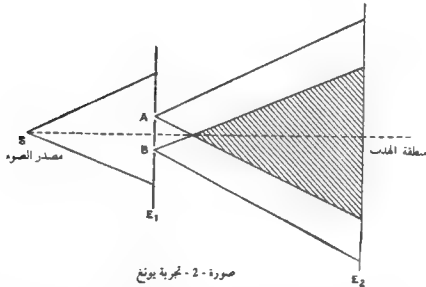
وبواسطة هذا المبدأ فسر يونغ تشكل حلقات نيوتن . واقترح بالضبط تجربة من نوع آخر ذات تحقيق بسيط نظرياً يمكن أن يحدث بسهولة ظاهرات تداخل ضوئية . ويتم الحصول على مصادر لذات الضوء (أي ضوء متجانس) وذلك بتمرير الأشعة الصادرة عن مصدر دقيق عملياً عبر ثقبين دقيقين جداً وقريبين جداً متقويين في ذات الشاشة . ويشكل هذان المجموعان من الأشعة المتجانسان الحاصلان على هذا الشكل غروطين متقارفين بسبب الانحراف الحاصل من جراء دقة الثقبين . وفي المنطقة المشتركة يلحظ وجود ظاهرات تشابكية (صورة رقم 2) .

إن صياغة قانون كمّي يدخل فيه صراحة طول الموجة يتيح تحديد القرابة بين مختلف انماط انتاج التداخلات . إن النظرية التاراجحية والتشابه بين الضوء والصوت ، وهي أمور انتهت بشكل أكثر رشاقة - انما أقل دقة - أولرد Euler ، بدت وكأنها ظهرت من جديد بيهاء اكبر . وكانت ردات الفعل أكثر

حيوية ، ودلت على أن الأفكار المهمة التي نادى بها يونغ « ظلت محبوسة ومنسية ضمن محفظة الجمعية الملكية » كما أسف لذلك هلمولتز Helmholtz .

وفي نفس الحقبة تقريباً (1808) ، أثبت اتيان لويس مالوس (1775 - 1812) وجود ظاهرات تكثيف ؛ وبشر بعد ذلك بقليل بنتائج أعماله (نظرية الانكسار المزدوج للضوء في المواد المتبلرة ضمن مذكرة قدمها علماء مختلفون ، مجلد 2 ، 1810) .

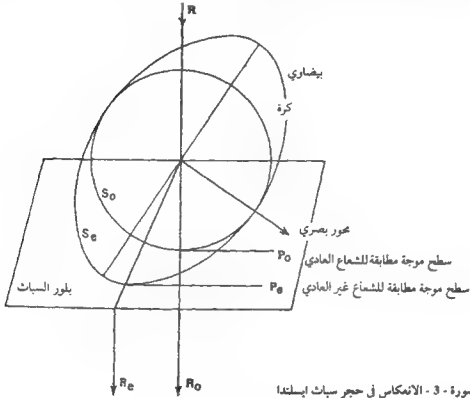
وقد لوحظ منذ وقت طويل الانكسار المزدوج الذي يمثل الضوء وهو يجتاز بلورات السبات الاسلندي . وقد لفتت هذه التجربة انتباه هويجنس Huygens ، ولكنه لم يعرف كيف يقدم عنها التفسير المرضي



ومن جهة أخرى ، وبفضل ظروف مؤاتية ، لاحظ مالوس ظاهرة التكثف عن طريق الانعكاس واتاحت له دراسة مجمل طاهرات الاوبتيكا الهندسية ، التي سبق أن قام بها ، أن يبين أن الشعاع الضوئي المنعكس بزواوية معينة يعطي فيما بعد مشابهة ملحوظة مع شعاع سبق أن اجتاز أول حجر سبات وأصانه التلون المزدوج : فكلا الشعاعين لا يمكن أن ينقسم بانكسار مزدوج عندما يجتاز سباتاً جديداً . (حول قضايا البصريات البلورية راجع أيضاً دراسة ج اورسل ، الفصل 1 ، القسم 4) . وبالعكس من يونغ ، أعلن مالوس بصراحة تتلمذه على نيوتن . وإذا فقد ذهب ليفتش في ظاهرة التلون المزدوج تفسيراً للنمط الجسيمي : إن الضوء النازل الأولي (أو الضوء الطبيعي) يتكون ، حسب اعتقاده ، من جزئيات لا متوازية متقارنة . إن تجاوز الحجر السباتي أو أيضاً الانعكاس فوق شفرة يعطي لهذه الجسيمات اتجاهها واحداً . من ذلك يمكن لحقل مغناطيسي أن يؤثر وأن يفعل في قطع مغناطيسية ذات قطبين .

يفترض إذا أن الضوء مكون من قطب . وبعد الانعكاس ، أو أيضاً بعد المرور في حجر السبات يتكثف .

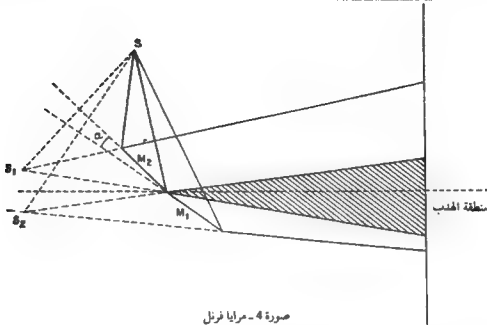
وإذا يبدو مالوس وكأنه قد استبعد التفسير التأموجي للمظاهر التكميفية ولظواهر الانكسار المزدوج . وبذات الحقبة (1811) ، عاد آراغو إلى الدراسة التجريبية للاستقطاب بواسطة بلورات الكوارتز واكتشف التكميف الكروماتيكي (اللون) . وبعد ذلك بعدة سنوات ، حوالي سنة 1820 توصل فرنل إلى تقديم تفسير ممتاز للنتائج الحاصلة (صورة رقم 3) .



علم البصريات التأموجية عند فرنل Fresnel : منذ بدايته في أعماله ، بدا أوغسطين فرنل (1788 - 1827) مأخوذاً بالنظرية التأموجية في الضوء . وقد عنون مذكرته الأولى التي قدمها إلى أكاديمية العلوم في أكتوبر 1815 : « تفارق الضوء » . وقد سبقت هذه المذكرة بمراسلة مع آراغو . فقد أراد هذا الأخير أن يقدم له الاهتمام والدعم .

كتب فرنل « ان النظرية التأموجية تساعد بصورة افضل على تفسير المسار المعقد للظواهر الضوئية ، وعندما يعود للظهور التماثل مع الصوت ، والاعتراض المتبادل القائل بأن الموجات تدور حول الحواجز ، ولهذا اردت دراسة الظلال » .

وفي الواقع تناولت تجاربه الأولى ظواهر التفارق المحققة بواسطة خط . ودرس الظلال المحدثه ورصد المهدب وقاس مسافاتهما وانتهى إلى القول بوجود توافق شبه تام مع التوقعات المستخرجة من النظرية التأموجية . وهكذا توصل إلى نفس استنتاجات يونغ والتي ذكره بها آراغو . فطور نتائجها بشكل منهجي .



صورة 4 - مرايا فرنل

إن الموجات الضوئية من شأنها أن تتداخل :

« إن تصالب هذه الأشعة بالذات ، هو الذي يحدث الهدب : ويمكن بسهولة تصور ان ذبذبات الأشعة التي تتلاقى ضمن زاوية صغيرة جداً يمكن أن يعارض بعضها بعضاً عندما تكون عُقْدُ بعض هذه التموجات تتوافق مع بطون التموجات الأخرى » . هذا هو قول فرنل .

وهو قد اثبت هذه الظاهرات بالذات مستعملاً الأجهزة ذات المرايا المسماة « مرايا فرنل » وذلك لكي يتفادى الاعتراض على حواشي الشاشة ؛ هذا الاعتراض الذي سبق ووجه إلى يونغ (صورة رقم 4) . وأخيراً تم له حساب موقع الهدب التي تحيط بظل الجسم غير الكاسر للأشعة . واستنتج بواسون Poisson بعد أن وقعت تحت يده مذكرة فرنل ، أن مركز الظل في حاجز صغير يجب أن يقدم بقعة ضوئية .

وقام فرنل ، بعد تنبيهه من قبل أرأغو ، بأجراء التجربة التي اعطت النتيجة المتوقعة . وبعد ذلك ثبت نجاح المبادئ الأساسية في نظرية الموجات . في سنة 1822 استطاع فرنل ، أن يكتب ما يلي :

« إن نظام البث أو نظام نيوتن المستند إلى اسم صاحبه الكبير ، واكاد اقول المستند إلى شهرة كتابه الخالد « المبادئ » وما اعطاه هذا الكتاب للمبدأ ، كان هو النظام المعتمد ؛ وبدت النظرية الأخرى متروكة تماماً عندما قام م. يونغ بالتذكير بها في اوساط الفيزيائيين عن طريق تجارب مذهشة تمثل اثباتاً أكيداً ؛ وبدت صعبة التوفيق مع نظام البث » .

إن الاعتراض الرئيسي الذي بقي ، حتى بعد هويجن ، على عاتق النظرية التمرجية كان تفسير الانتشار المستقيم للضوء ، وقد أشار هويجن إلى الطريق . ولكن عملية ظاهرات التداخل كانت غير معروفة تماماً فلم يتمكن من الوصول إلى حل مرض . وهو عندما بين أن الحركة المحدثة

والمقولة بواسطة موجة كروية غوت جزئياً بفعل التداخل، توصل إلى الاستنتاج بأن هذه الحركة هي وليدة سلوك جزء من الموجة. إن تصورات هويجن قد أدت عندها إلى التبين الدقيق لاثبات الانتشار المستمر. وبعدها لم يعد من اعتراض جدي ضد نظرية الذبذبات. واستطاع فرنل الاستنتاج بأن : « الضوء ليس إلا نوعاً من أنواع الذبذبة في سائل كوني » .

ورغم مساندة آراغو لم تستطع نجاحات نظرية الذبذبات ، وبسهولة ، اقناع رأي عام مؤمن بالنظريات الجسيمية . وكان لا بد من تجربة دامغة . وعثر عليها - أو ظن الناس انهم عثروا عليها - وذلك عند المقارنة بين سرعات الضوء في الماء وفي الهواء : تنص نظرية البث على التسريع عند الدخول في وسط أكثر كثرة للضوء كما تنص نظرية الذبذبات على تبطئه . وفي سنة 1838 صرح آراغو أن واحدة من النظريتين يجب أن تسقط أمام الوقائع . وجرب فيزو تفحص التجربة (صورة رقم 5) : لقد كان هناك تباطؤ . « كتب يقول : إن حصيلة هذا العمل تقوم على التصريح بأن نظام البث لا يتوافق مع حقيقة الوقائع » .

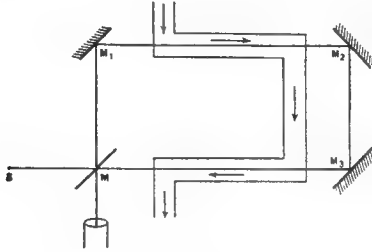
قليلة هي الأشياء النهائية في الفيزياء . ولنا عودة على تفسير تجربة فيزو . وعلى العموم إن القرن التاسع عشر ظل يحتفظ بمناصريه ، متأخرين ولكنهم ملحنين ، للفرضيات الجسيمية . وكان بيوت اشهر هؤلاء المناصريين . وظل هذا الأخير حتى وفاته التي حصلت سنة 1862 مصرأ على تفسير الظواهر الرئيسية في علم البصريات بعد ادخال التحسينات على نظرية نيوتن وبدا له الانكسار دائماً حصيلة جذب تحدته الأجسام في ذرات الضوء . ولكي يثبت اقواله درس الانكسار المقارن في مختلف الغازات وقد حاول شرح الظواهر بواسطة فرضية الأرجحة الدورية في المحاور .

ولكن آراء بيوت شكلت خيطاً رفيعاً ربط النيوتونية المتهاوية بالنظريات الكمية الفنية الشابة . شاهد القرن التاسع عشر نمو وتطور مكاسب النظرية الذبذباتية . وانه في مجال التكثيف ، اعطت اعمال فرنل وآراغو النجاحات الكبرى .

لقد سبق واشترنا إلى التجارب الأساسية حول التكثيف التلويحي (كروماتيك) ، وحول التكثيف الدائري وإلى منشأ الأعمال الأولى التي قام بها مالوس Malus حول هذا الموضوع : دراسة ظواهرات الانكسار المزدوج . لقد قام هوك ونيوتن وولاستون وبعدهم هويجن بدراسة هذه المسألة . وعلى افتراض ان الضوء يتكون من موجات اعتراضية - وهي فرضية سبق وأشار إليها هوك Hooke - فقد بين فرنل امكانية تفسير الانكسار المزدوج في حالة بلورة ذات محور واحد (أي ذات تطابق ترتيبى بالنسبة إلى محور) أو ذات محور مزدوج . وبهذا الشأن تشكل الموجة التي تنتشر في وسط كاسر للأشعة ومتباين الخواص ، عموماً سطحاً من الدرجة الرابعة . وهذا السطح يتحول إلى كرة إذا كان الوسط متجانس الخواص . أما في الأوساط المتباينة الخواص وذات المحور الواحد ، يتحول هذا السطح ويتشكل إلى كرة تتوافق مع الشعاع العادي وإلى اهليلج متعلق بالشعاع غير الاعتيادي .

الاثير عند فرنل : كان فرنل يعتقد في أول الأمر ، بوجود غطين من الانكسار في حالة كون الذبذبات الضوئية عمودية على سطح التكثف . وقد بين بواسون Poisson أن هذا الافتراض غير

صحيح ، وتوصل فرنل إلى دراسة غو القوى المطاطة ضمن بلورة ، بحسب توجه الذبذبات الضوئية بالنسبة إلى المحور البصري . وهكذا توصل إلى تطوير نظرية ميكانيكية للذبذبات الأثير . إن وجود هذا « المائع الكوني » الذي يشكل الضوء واحداً من اساليبه في الذبذبة ، يبدو مرتكزاً على نتائج موثوقة إلى درجة مكنت لامي Lamé أن يكتب في سنة 1852 ما يلي :



صورة رقم - 5 - قياس سرعة الضوء في تيار مائي من قبل فيزو

« إن وجود هذا « المائع الأثيري » هو من غير شك ثابت بفصل انتشار الضوء في الفضاءات الكواكبية ، وذلك بفضل التفسير البسيط والكامل لظواهر الانشطار في نظرية الموجات » .

ما هو حال مميزات هذا المائع ؟ بإمكاننا أيضاً أن نستعير من لامي صيغة هذه المزايا الرئيسية : « إن حالة هذا المائع الثابتة (ستاتيكا) مرهونة بالدفع العكسي الحاصل له وللأعمال الواقعة عليه من قبل الذرات الموجودة . وبفضل هذه القوى ينتشر الأثير بشكل موحد في كل فضاء فارغ من مواد قابلة للوزن ؛ أن ثقله النوعي ثابت ومطاطيته هي ذاتها في كل الاتجاهات » .

وفي علم البصريات الحديث يبدو أن مفهوم الأثير لم يغير شيئاً من حقيقته الجوهرية . ولكن ، وبالضبط ، في الوقت الذي اكتسب فيه كل أهميته ، بفضل نحاح النظرية الذبذباتية في الضوء ، اخذ الأثير يفقد الخصائص الميكانيكية التي كانت تؤمن له ميزته كمائع حقيقي .

ولكي يشرح فرنل ظواهر التكثيف كان عليه أن يؤمن بانتشار الذبذبات الاعتراضية . ومن أجل هذا كان عليه أن يعطي للموسط صلابة نظرية لا حدود لها ، وعملياً هي أعلى من صلابة الأمانة الأكثر مقاومة . وهذه الصلابة قلما تأتلف مع حركة الأجسام السماوية التي لم تتأثر بها على الإطلاق . وهكذا اخذ اثير فرنل يرتدي مزايا غريبة نوعاً ما ، إذ كان عليه أن يوفق بين الصلابة التي لا حد لها وبين مقاومة للحركة شبه معدومة . وقد تم البحث عن استكمال نماذج الاثيرات ولكن النتائج الحاصلة ، خاصة بفضل اعمال يواسون ، بدت غير دامغة إلا قليلاً ؛ أما اثيرات النمط الكلفيني

(نسبة إلى كلفين Kelvin : أو الأثير الدواري الثابت) فقلنا كان لها فائدة غير اشارة الفضول والخشية . ومن جهة اخرى ، إن جر الأثر بالأجسام المتحركة لم يكن الا ليشير الاضطراب في نفس فرنل . وبعد تجارب آراعو ، بدت قوانين الانعكاس والانكسار هي ذاتها بالنسبة إلى الأجسام المتحركة وقد افترض فرنل بصورة عفوية أن الاثير مقود بحركة الأرض ، ولكنه لم يعرف كيف يفسر ظاهرة الزيغان الضوئي المكتشف من قبل مرادلي Bradley منذ 1728 .

إن رصد النجوم المسماة بالنوابت يقدم مثلاً بارزاً عن هذه الظاهرة ظاهرة الزيغان : اثناء السنة تبدو النجوم الثابتة وكأنها ترسم اهليلجات صغيرة . وتفسر الحركة الظاهرة بسهولة : إن الصورة الحاصلة تنبع عن الوضع الحقيقي وعن حركة الأرض حول الشمس . ونذكر هنا المقارنة الكلاسيكية بالعلم الخافق في اعلى ساري سفينة ، علم يتجه بحسب حصيلة اتجاه الريح وحركة السفينة . في حين أن الزيغان الناتج عن حركة الأرض مستقل عن طبيعة الوسط المخروط بالضوء . ان انكسار الضوء لا يتغير في حركته بالنسبة إلى الأثير ويجب افتراض الانحرار الجزئي الحاصل من الموجات الضوئية داخل الوسط المخروط .

ووافق فرنل على تسوية هكتب إلى أراغو يقول : « أستطيع استيعاب هذه الظاهرة بوضوح ، لا بعد ، افترض أن الأثير ينتقل بحرية عبر الكون ، وأن السرعة المعطاة هذا السائل اللطيف ليست إلا جزءاً صغيراً من سرعة الأرض » .

وانطلاقاً من فرضية استقلال الزيغانات بالنسبة إلى الوسط المخترق من العيار (n) ، وهو وسط ينتشر الضوء فيه ، حسب فرنل معامل انحرار الموجات الضوئية . هذه القيمة التي تساوي : $\alpha = 1 - 1/n^2$ والتي تثبت مباشرة بفعل تجارب فيزو (1851) ، وهذه القيمة تشكل على ما يبدو حجة ظاهرة لاثبات نظرية فرنل .

هذه الطريقة لا تحاول ايضاح خصائص الأثير الا فيما يتعلق بتشوهات المطاطية وانحراره بالأوساط محترقة . وكان يكفي أن يبرر انتشار الموجات الاعتراضية . وتحيل فرنل ارتداداً ممكناً لتغيرات الأثير في حالات اخرى غير مجالات علم الصريات . وفي رسالة ارسلها إلى أخيه يعود تاريخها إلى 5 تموز 1814 ، يمكن استخلاص هذا المقطع :

« اعترف لك أني ميال جداً إلى الايمان بذبذبات مائع خاص من اجل انتقال الضوء والحرارة ... وعندها يُرى في اضطراب التوازن ، في هذا مائع ، سب الظواهر الكهربائية » .

وعلى كل ، ورغم هذا التخمين تبقى الظواهر الكهربائية بدون رابط مباشر مع علم البصريات « الاوبتيكا » في نظرية فرنل .

المثويات الكهربائية والأثير : في حين ارتدى الأثير المزود بالبنية اهمية متزايدة في « الاوبتيكا » اتجه نحو الكهرباء السنتية ، تحت تأثير كولومب Coulomb ، وأورستد Ørsted ، وبيوت Biot ، وسافارت Savart في اتجاه معارض تماماً .

فقد تثبت كولومب من قانون التأثير المتبادل بين التيارات ، مفترضاً لهذا التأثير المتبادل ، وبصورة

مسبقة ، الشكل الذي يحكم الأعمال النيوتونية المسماة « الأعمال البعيدة » . فالتأثير بين المغناطيس ثم بين التيارات الكهربائية (امبير ، بيوت وسافارت) ، بدا هو أيضاً خاضعاً لقواعد من نفس النمط .

إن أعمال فراداي ، ثم أعمال غوس قد وجهت الكهرومغناطيسية الناشئة في طريق آخر مختلف . وبهذا الشأن لفت فراداي الانتباه إلى الدور المهم الذي تلعبه الأمكنة . فقد اعتبر في بادئ الأمر الأمكنة المادية معروفة تماماً مثل البارافين والإبونيت ، الخ . هذه الأمكنة المسماة «عازلة» من شأنها أن تغير الأثر المتبادل للتيارات الكهربائية أو الشحنات التي توضع الأجسام العازلة بينها . واستنتج فراداي أن هذا التغير يحدثه تغير في الوسط ذاته . وفي داخل الأجسام العازلة الحيدائية في بادئ الأمر ، تتولد تحت تأثير الشحنات الخارجية ، شحنات ذات مؤشرات متعاكسة مرتبطة في كل منطقة أولية من مناطق هذا العازل : ويقال عندئذ بتشكيل « اقطاب ثنائية » (dipôles) ، وأن الوسط المادي يصبح بالتالي استقطابياً . وعندما يعمل لحسابه الخاص ، متدخلاً بشكل ناشط في أوالية المضاعيل المتبادلة بين الشحنات .

إن الأوساط تصبح قابلة للتغير أي مكثفة تحت تأثير المصادر الخارجية ثم تعمل بدورها في تفاعل الشحنات وتسمى عندئذ ثنائية الكهرباء (دي الكتريك) .

ومن أجل الاختصار وتوضيح عمل هذه الثنائيات الكهربائية ، عمل فراداي على توضيح اتجاه وزخم القوى التي تتدخل في كل نقطة من نقاط المكان : وهكذا اعتبر وجود خطوط قوة من شأنها أن تنقل ، انطلاقاً من جسم مشحون ، الأثر المعتبر إلى جسم آخر عبر ما يسمى « بالثنائي الكهربائي » ، ويقاس زخم هذا العمل بكثافة خطوط القوة ، أي بعدد خطوط القوة التي تقطع وحدة السطح « المثنوي الكهربائي » ، عامودياً على اتجاه هذه الخطوط . وعزا فراداي إلى هذه الخطوط أو انابيب القوة معنى فيزيائياً حمله على إعطائها وصفاً محدداً تماماً . إن الفراغ يمكن تصوره هو أيضاً وكأنه مثني كهربائي خاص تقطعه خطوط القوة هذه : ويصبح الأثر عندها ، مثل المثنيات وسطاً مادياً . أنه مثنوي كهربائي خاص ، أو بمعنى آخر أنه حد مفهوم المثنوي الكهربائي .

الحقول الكهربائية والتكهرب : نوجه انتباهنا الآن لا إلى دعامة العمل أو الأثر ، اثراً كان أم مثنوياً بل توجهه إلى هذا الأثر بالذات .

إن الأثر الذاتي الذي يتولد بين الحقول الكهربائية أو بين الكتل المغناطيسية (المفترضة) يشكل « الحقل الكهربائي » . وبالمعنى الأعم ، يشكل الحقل المجال الذي يمكن أن يظهر فيه أي مفعول أو أثر . إنه هذا المجال الموزون والمراقب ، إن أمكن القول ، بفعل زخم خطوط القوة . إنه حقل قوى ؛ معطاه يمكن من التعرف ، في كل نقطة ، ليس فقط على العمل الذي يحدث فعلاً ، بل أيضاً على العمل الذي يمكن أن يحدث .

نحن نعرف من جهة أخرى أن المثنوي الكهربائي (أو المجال المغناطيسي) يمكن أن يغير هذا الأثر : فهو حين يتكثف يعمل لذاته أي لحسابه الخاص فيحدث مفعولاً ذاتياً - إن أمكن القول - مساهماً بشكل في الحقل : إن الأثر الشامل الذي يحسب حساباً لتدخل المثنوي يسمى التكهرب .

وأهمية تحول الحقل (المتعلق بالآثير) إلى كهروب (متعلق بالمشوي الكهربائي) يقيس ، بشكل من الأشكال القوة النسبية (نسبة إلى الآثير) في الوسط المادي : وهذه هي القوة المغناطيسية الذاتية (أو ، إذا تعلق الأمر بالتأثيرات المغناطيسية ، هي الشفافية المغناطيسية) . ويفترض على العموم - في نظام الرجوع الخاص المرتبط بالمادة المتحركة تحركاً بسيطاً ومتسقاً بالنسبة إلى الآثير (نظام ذاتي) - يفترض وجود تناسب بين الحقل والحث .

ونحصل عندنا معادلات من النوع التالي : $(\vec{D} = e\vec{E})$ حيث تمثل \vec{D} الكهرباء و « القوة في المشوي \vec{E} الحقل المكهرب و $\vec{H} = \mu \vec{B}$ حيث \vec{B} هو الحث الكهربائي و μ هو قوة المكان المغناطيسي و \vec{H} هو الحقل المغناطيسي .

وبذات الحقبة تقريباً توصل بواسون إلى تحديد قوانين انتشار المفعول الكهربائي أو المغناطيسي في وسط يعرض توزيعاً مشتركاً للشحنة . من أجل هذا اقترح نظام معادلات ، من حلوله القريبة الحقل المغناطيسي المرموز إليه بـ $(1/r^2)$ والذي يتدخل في قانون كولومب : إن الآثار الكهربائية المسماة بعيدة المدى تبدو حالة خاصة تنتج استباق النظرية الدقيقة حول الأمكنة أو الأوساط المستمرة .

جاسس كلارك مكسويل James Clerk Maxwell : النظرية الكهرومغناطيسية في الضوء : إن نظرية المشويات الكهربائية لا تتعلق مباشرة بنظرية فرنل . ولكنها تمهد الطريق من أجل توليف بدا قريباً . في سنة 1827 كتب كورنو Cournot موضحاً ما يلي : إن النظرية البصرية التي وضعها فرنل ليس لها أدنى علاقة بنظرية الحرارة عند فورييه Fourier ولا بنظرية كولومب أو بواسون ، ولا بنظرية امبير . وأهم غاية في الفيزياء المعاصرة هي بيان أن كل هذه الظواهر البصرية والحرارية والكهربائية والمغناطيسية ، لها في ما بينها وحدة عميقة » .

وإلى مكسويل (1831 - 1879) يعود الفضل في تحقيق هذا التوليف . في بداية اعماله ، كانت قوانين الكهروديناميكا مقبولة حتى ذلك الحين وموفية بالفرض ، أي أنها كانت تشرح كل الوقائع المعروفة . إلا أن مكسويل اكمل هذه القوانين بعبارة هي من الناحية التجريبية محض عفوية تحمكية ، لأنها كانت أقل . من أن تدحض أو تثبت بالتجربة .

كتب بوانكاريه Poincaré يقول : « كان مكسويل متشعباً بأحاساس التقابل الرياضي . فهل كان يمكن أن يكون كذلك لو أن آخرين قبله لم يبحثوا عن هذا التطابق من أجل جماله الذاتي ؟ ذلك أن مكسويل قد تعود التفكير بواسطة الخط المستقيم (Vecteur) وإذا كانت الأسهم قد دخلت في التحليل ، فذلك قد حصل بفضل نظرية التصورات أو التخيلات . والأشخاص الذين اخترعوا التخيلات قلما شككوا بالجدوى التي يمكن استخلاصها منها من أجل دراسة عالم الواقع . ويكفي الاسم الذي اطلق عليها لاثبات ذلك بما فيه الكفاية » .

وبدأ مكسويل يرد كل ظاهرات الكهرومغناطيسية إلى مفاعيل ديناميكية خالصة . وكما فعل فرادي Faraday استبدل المفعول البعيد المدى بتفسيرات مرتكزة على الحركة وعلى خصائص سائل

مفترض . وكان لهذا الأثير الكهرومغناطيسي حالة ميكانيكية ، أي طاقة ، وتوترات ، وكميات من الحركات يمكن أن تعبر عن نفسها تبعاً للحقول الكهربائية والمغناطيسية . ونتج عن ذلك أن الفراغ مختلف تماماً عن « الإطار الذي لا شكل » له وبدا كذلك أيضاً أن تصور الأثير كمادة متموجة ، هو تصور يجب التخلي عنه . إن الفضل الأساسي الذي يعود إلى مكسويل هو أنه ربط هذا الأثير المسؤول عن الأعمال الكهرومغناطيسية بأثير فرتل .

كتب مكسويل يقول : « إن تعبئة الفضاء بوسط جديد في كل مرة يتوجب فيها تفسير ظاهرة جديدة لا يمكن أن تشكل وسيلة عقلانية . بالعكس ، وإذا تم التوصل عن طريق فرعين مستقلين من فروع العلم إلى فرضية وجود وسط ، فإن الخصائص ، التي يجب استنادها إلى هذا الوسط من أجل توضيح ظواهر كهرومغناطيسية ، هي من ذات الطبيعة التي يجب استنادها إلى الأثير الضوئي من أجل تفسير ظواهر الضوء ، عندها تكون حججنا الفيزيائية بالإيمان بوجود مثل هذا الوسط قد ثبتت » .

وإذن لم يعد الأثير فقط وسطاً حيادياً يؤمن نقل الحركات . إنه ركيزة طاقة . يمكنها اختزان هذه الطاقة بشكل كامس ، كما يحدث في حالة الكهرباء الستاتية ، وبشكل حركي تظهره ، مثلاً ، تيارات التنقل داخل المثنيات الكهربائية .

هذان الأثران ، أو هذان الحقلان ، غير مستقلين . فالحقل لا يتواجد وحيداً إلا إذا كان غير متغير . فالتغير في أحدهما يجر وراءه وجود الآخر . وحركة مطلق شحنة ، مثلاً ، تحدث حقلًا كهربائياً وحقلًا مغناطيسياً عاموديين أحدهما على الآخر ، وعلى حركة الانتشار . ووضع مكسويل القانون الذي يربط هذين الحقلين كما وضع القانون الذي يعطي قيمة تيار الانتقال . فإذا كانت النظرية صحيحة ، فإن العلاقة بين الوحدات الكهرومغناطيسية في التيار ، وبين الوحدات الكهروستاتية ، يجب أن تكون مساوية لسرعة زيمان كهرومغناطيسي في الفراغ ، وبخاصة ، مساوية لسرعة الضوء .

ولكن قياس هذه العلاقة وبالتالي هذه السرعة كان ممكن التحقيق . وتم تحقيقه فعلاً من قبل و. و. Weber و. ر. كوهل R. Kohlrausch سنة 1855 . وأتاح الالكترومتر تقييم الشحنة في مكثف عن طريق الوحدات الالكتروستاتية ، في حين قاس الكالفانومتر القاذف نفس الكمية بالوحدات الكهرومغناطيسية . والعلاقة بين هذه القياسات ، أي سرعة الزيمان أصبحت معروفة بدقة . ومنذ 1849 حقق فيزيو تمهيداً دقيقاً لسرعة الضوء : وكانت القيمة الحاصلة مساوية تماماً للعدد الذي يقيس علاقة الشحنات المقيمة وفقاً لنظامي الوحدات . وعن طريق المقارنة بين التجنتين المرقمتين ، استطاع ماكسويل استخلاص تماهي الذبذبات الضوئية والكهرومغناطيسية . وتذكر هذه النتيجة بالمقارنة الحذرة الواعية بين الجاذبية الأرضية والجذب الكوني . وليس فقط لأنها تخضعان لنفس القانون الشكلي استطاع نيوتن الاعتقاد بتماهيها ، بل لأن حساب القوتين (الجاذبية والجذب) ومفاعيلهما يؤدي إلى نتائج متماثلة للغاية .

وهكذا كان حال نظرية مكسويل . ولكن تماهي الضوء مع الظواهر الكهرومغناطيسية يجب إثباته بشكل أكثر وضوحاً - وعاد هيريك هرتز H. Hertz (1857 - 1894) إلى تجارب فيدرسن Feddersen فتوصل سنة 1885 إلى إنتاج موجات طولها متر . وهذه الموجات تتميز بالظواهر المعروفة

تماماً وهي ظاهرات الانعكاس والانكسار وسرعتها متساوية مع سرعة الضوء . وانتاج الموجات العالية القصر تم بحالاً أخذ يقترب بصورة تدريجية من تحت الأحمر . وفي الوقت الحاضر تلتقي هذه المجالات، وبعد ذلك ومنها كان التفسير المقدم أو المعمول به يبقى الضوء داخلاً في مجال الموجات الكهرمغناطيسية .

العلاقة بين الحقل أو المجال ومصادره . النظرية الميكروسكوبية التي قال بها . ه. آ. لورنتز : ومع ذلك لم تقدم لنا أعمال مكسويل ايضاحات كاملة حول ولادة الظاهرات الكهرمغناطيسية بواسطة العمل الميكانيكي الخالص .

كتب ب. لانجفين P Langevin يقول : « إنها (أي اعمال مكسويل) لا تقدم لنا معلومات عن الرابط الذي يوحد بين المادة والأثير ، وهذا الجهل عنده أساسي في حالة الموجات الهرتزية والصوتية ، نحن نهمل لماذا تنتشر بشكل آخر في الأوساط المادية ، تختلف عن انتشارها في الفراغ ، ولماذا تشتتها المادة . كما أننا نهمل بشكل خاص وتاماً كيف أن المادة ضرورية لإنتاج ولتدعيم هذه الموجات . وماذا يحدث لها عند ولادتها وعند موتها » .

ومن جهة أخرى ادخل تركيب مكسويل في قلب وصميم الاونيتكا صعوبة لم تختلف تماماً بعد ذلك عن الظاهرات الكهربائية . ولكن منذ هلمولتز Helmholtz وفراادي ساد الاعتقاد أن الكهرباء ذات بنية متقطعة .

وقد حوت محاولة من اجل تفسير استمرارية وتنازع الحقل الكهرمغناطيسي عن طريق حركة الشحنات الحقيقية الموجبة حول شحنات أكثر ثقلأ . وذلك على أساس مبدأ نظرية و. وير الذي اعاد الشباب إلى أفكار امير، وذلك حين شبه الجيببات (Molécules) بالكهرمغناطيسيات المصغرة (1871) .

وقد أتاحت نظرية لورنتز في سنة 1895 تغيير إشارة شحنات وير : انها الكثرونات سلبية تدور حول بؤر أو مراكز . فضلاً عن ذلك وفي الموصلات تدور الكثرونات حرة يولّد تنقلها الموجة النيارات . وأخيراً إن الألكثرونات التي تدور حول مركز اشعاع إلى حد لا نهاية له تولد موجة اعتراضية كهرمغناطيسية .

« ويضيف ب. لانجفين إن منشأ الاشعاع الكهرمغناطيسي يكمن في الألكثرونات الخاضعة للتسريع : وبواسطة هذا الألكترون تعمل الطبيعة كمصدر لموجات هرتزية أو صوتية . وكل تسريع ، وكل تغيير يحدث في حالة الحركة ضمن نظام الكثرونات يُترجم ببث موجات . إن صفة الموجة المثبتة تتغير بحسب ما إذا كان التسريع فجائياً أو متقطعاً أو دورياً » .

ومن الناحية العملية وفقاً لورنتز نظريته مع نظرية مكسويل وذلك عندما افترض أن الألكثرونات ليست تنطوية وأنه من الممكن تعريف « هيكلية » للمصادر وكذلك عندما افترض وجود ثقل نوعي كهربائي داخل الألكترون . هذه الكثافة (P) والسرعة (v) في الألكثرونات تشكّلان حدوداً تكمل معادلات شبيهة بمعادلات مكسويل من حيث شكلها ، ولكنها متعلقة بحقول كهربائية ومغناطيسية وميكروسكوبية أي مرتبطة بعزيمية مشحونة . وإذا نظرنا إلى عدد كبير من الشحنات ، فإن المعادلات

الميكروسكوبية عند لورنتز تُعطي بصورة أوتوماتيكية المعادلات الماكروسكوبية عند مكسويل . ولكن يجب أن لا يغيب عن نظرنا أنه رغم تشابه البنية فإن معادلات مكسويل ومعادلات لورنتز تصدر عن تأملات مختلفة جداً . إن معادلات مكسويل المستوحاة مباشرة من النتائج التجريبية التي قام بها فراداي لا تهدف إلا إلى توضيح الظواهر الاحصائية حيث يتدخل عدد كبير من الشحنات . أما المعادلات التي وضعها لورنتز فتشكل استفراء ذكياً لصحة معادلات مكسويل من أجل وصف السلوك الذاتي والجسمي للشحنات . وهذا الاستفراء مستند إلى نجاحات ملحوظة : تفسير التوصيلية في المعادن ، والتنبؤ بموجة التسارع المحدثة بفعل ذبذبات سرعة الشحنات ، وبنظرية تشتت الضوء ، ونظرية مفعول زيمان Zeeman العادي⁽¹⁾ .

ليست نظرية مكسويل - لورنتز نظرية كمية لأن الحقل الكهرومغناطيسي يبقى فيها مستمراً في جوهره . إلا أن التقطيع يظهر في المصدر وفي النهاية . يقول ي. بيكارد E. Picard : « في اثر مكسويل والالكترونات التي تتحرك فيه تتراكم نظريات البث والتموج بنوع من الأنواع . وليس هذا إلا بداية ثنائية سوف تبرز أكثر فأكثر » .

ويمكن في هذا الشأن التساؤل هل أن الحقل الكهرومغناطيسي ومصادره هي كيانات متماثلة اجمالاً (نظريات غير ثنائية) أو أنها ذات طابع مختلفة بشكل جذري (نظريات ثنائية)

وإذا استبدلنا فكرة المصادر النقطية بفكرة المصادر الممتدة ، نصل إلى إحلال البنية الكروية والجامدة التي هي من خيال وحيي النظريات الأولى التي وضعها ابراهام Abraham وبوشيرر Bucherer بواسطة هيكليّة قابلة للتشويه . ووفقاً لرأي هـ. آ. لورنتز أن كل جزئية مشحونة ، كمصدر لحقل كهرومغناطيسي ، تتلقى تقلصاً في اتجاه حركتها .

ومن جهة أخرى ، يمكن عزو نشأة كهرومغناطيسية خالصة لكل كتلة في كل جزئية : أي أن معامل الكتلة المرتبط في كل مصدر من المصادر يمكن أن يعبر عنه تبعاً للمقادير التي تميز الحقل .

إن الكتلة m_0 ، من الكترون مفترض أنه جامد يمكن أن يعبر عنه تبعاً للشحنة q والشعاع r_0 لهذا الالكترون .

$$m_0 = \frac{2}{3} \frac{q^2}{r_0 c^2}$$

يمكن أن نقيس $g \approx 0.90.10^{-27}$ ، إذا عرفنا r_0) فيمكن أن نعرف إذاً أي جزء من الكتلة هو من مصدر كهرومغناطيسي ، ولما كان الأمر بخلاف ذلك يمكن فقط استخراج - من فرضية لورنتز - شعاع المنطقة الفريدة ، التي تمثل الكترونات كل كتلة هي منشأ كهرومغناطيسي وهكذا نجد :

$$r_0 = 1.9.10^{-12} \text{ cm}$$

(1) عندما وضع لورنتز نظريته قرر انها تتيح التنبؤ بتغير وتيرة الذبذبات المشوة من قبل مصدر ، وذلك عندما يكون هذا المصدر موضعاً في حقل مغناطيسي ذي زخم كاف ، ان الحقيقة التجريبية لهذه الظاهرة (المسماة مفعول زيمان Zeeman) قد بُدِئت في سنة 1896 من قبل الفيزيائي الهولندي بيتر زيمان Peter Zeeman (1865 - 1943) تلميذ لورنتز . وهذا التحقيق الدقيق جداً والذي يقدم اثباتاً أكيداً لنظرية لورنتز ، قد استبعد مد ذلك بقليل من قبل الفيزيائي الفرنسي ايمي كوتون Aimé Cotton .

وقد استطاع لورنتز أن يبين أنه إذا أعطى لكثافة المصادر نشأة كهرومغناطيسية ، يحدث تغير في هذه الكثافة بحسب السرعة .

إن الجسم إذا السرعة الثابتة β له كثافة كهرومغناطيسية متغيرة m بحيث تكون :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \left(\beta = \frac{v}{c} \right)$$

وقد ثبتت هذه الفرضية بشكل باهر بفضل تجارب غويي Guye ولافانشي Lavanchy ويستنتج من ذلك أن كل كثافة الجسم هي من مصدر كهرومغناطيسي . في تلك الحقبة كان يظن أن الكثافة الكهرومغناطيسية وحدها تستطيع التغير تبعاً للسرعة مع بقاء الكثافة الميكانيكية غير متغيرة . وبدت تجارب غويي ولافانشي أنها تثبت أولوية الحقل ، وهو حقل ميكروسكوبي وكان اسمي تستخرج منه ، إلى حد بعيد ، مميزات المصادر .

من التأثير الميكانيكي عند فرنل إلى اثير لورنتز : إن التركيب المكسويلي بماسي اثير فرنل والتأثير الكهرومغناطيسي . وعلى كل حرص مكسويل أن لا يشدد على هيكلية هذه الركيزة وبقيت خصائصها الغريبة متروكة في الظل . وحده انجرار هذه النية جزئياً بالمادة المتحركة ، وهو انجرار تثبته التجربة ، أعطى للمادة سرعة تساوي αv ، باعتبار أن α تساوي معامل الانجرار المنصوص عليه في نظرية فرنسل . هذه الخصوصية الأساسية ليست محفوظة لا في نظرية ستوكس Stokes وهيرتز ولا بالنظرية الميكروسكوبية التي قال بها هـ.آ. لورنتز .

وكان ستوكس قد افترض انجراراً كاملاً للتأثير الضوئي (أو بصورة أولى المضاء) بالمادة المتحركة ، وهذه الفرضية عموماً هرتز ليطبقها على التأثير الكهرومغناطيسي ، وتصطدم هذه الفرضية باعتراضات مبدئية ضخمة خصوصاً عندما يتوجب توضيح أسلوب انتقال الضوء من التأثير الكواكبي الجامد إلى التأثير الأرضي المتحرك . فضلاً عن ذلك تناقص هذه الفرضية مع التجارب المحققة في مجال الكهرباء الديناميكية للمكهربات الثنائية المتحركة .

إن تنقل الجسم العازل ضمن حقل كهربائي (رونتجن Röntgen 1885) وإينشولد (Eichenwald 1903) أو في حقل مغناطيسي (ولسون Wilson 1904) يدل على أن كل شيء يجري كما لو أن الحقل الماكروسكوبي \vec{E} - بسبب الحركة - يجب أن يستبدل بحقل $\vec{E} = \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) \vec{E}$ (باعتبار $\epsilon =$ ثابتة مكهربة ثنائية) وباعتبار أن \vec{E} مجرور بصورة جزئية . وهذا الاستنتاج يتعارض مع فرضية الانجرار الكامل الذي تخيله هرتز Hertz .

وتبدو هذه النتيجة متعارضة مع الفرضية القائلة بتأثير جامد تماماً ولكنها تتوافق ، مقابل ذلك مع الشروط الأساسية التي يطلبها فرنل .

ومع ذلك ففكرة التأثير الجامد كانت في أساس النظرية الميكروسكوبية عند لورنتز . ويبدو لأول وهلة غريباً نوعاً ما بالنسبة إلى فكر غير مطلع أن تستطيع فرضية لورنتز المختلفة جداً عن نظرية فرنل ، التوصل إلى نتائج مماثلة . ولكن في الواقع لا تتصل هذه الفرضيات بنفس السلم

→ فعل الصعيد الميكروسكوبي الذي هو أساس نظرية لورنتز يعتبر الأثير والحقل الميكروسكوبي (e,h) الذي يحملة جامدين تماماً . ولكن داخل الأجسام الكهربائية الثابتة (دي الكترك) يوجد أقطاب مزدوجة تخلق تكتيماً \vec{P} في الثاني - الكهربائي ، وهو تكتيف مجرور بكامله بحركة هذا الثاني .

إن الحث الماكروسكوبي \vec{D} هو كمية احصائية تنتج عن المجل \vec{E} المتكوّن من الحقل الميكروسكوبية وعن التكتيف \vec{P} : $\vec{D} = \vec{E} + 4 \pi \vec{P} = \epsilon \vec{E}$.

كل شيء يحدث عندئذ ، وذلك بسبب جود الحقل \vec{E} وبسبب الانجرار الكامل للتكتيف \vec{P} ، كما أن الحث $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$ يتلقى انجراراً جزئياً . وكل شيء يعود - بشكل احصائي - إلى استبدال الحقل \vec{E} بحقل آخر $\vec{E}' = \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right) \vec{E}$. ولكن ، وبشأن غالبية الأوساط الشفافة ذات الشفافية المغناطيسية μ المجاورة للوحدة نحصل على : $\epsilon = \epsilon_0 \mu = 1$.

ونحد إذا ، وبواسطة فرصة لورنتز ، النتائج الماكروسكوبية عند فرنل ونتائج التجارب المحققة حول الدي الكتريكات المتحركة . ولكن هذه النتائج تشكل مظهراً شاملاً : على المستوى الدقيق لا يوجد إلا اثير جامد وأقطاب مزدوجة مجرورة .

الأثير غير القابل للرصد ، والأساسي : نلاحظ بالتالي أن البحوث المتعلقة بالأثير تكتفت في آخر القرن التاسع عشر حول النقطة التالية : دونها تعرض للسلمات الخاصة التي قد تبدو مفضلة ولكنها إلى حد ما مغوية يبدو من المعقول التوقع أن تظهر التجربة أكثر خصائص الأثير بروزاً : وهي خاصية تكوين وسط مادي فيه تغطس الأجسام المتحركة والتي تنسجم حركتها مع المبادئ الكلاسيكية . ثم إن حركات الأجسام المادية يجب أن تحدث مفاعيل لـ « ريع الأثير » وهي مفاعيل ترداد حركتها بمقدار ما تتحرك الأجسام بسرعة أكبر . وإذا تعلق الأمر بحركات مستقيمة وموحدة الشكل بسرعة θ ، يقال أن مفاعيل هواء الأثير هي من الدرجة الأولى إذا دخلت فيها حدود $\beta = \theta / c$ وتكون من الدرجة الثانية إذا برزت فيها حدود $\beta^2 = \theta^2 / c^2$ الخ .

المفاعيل من الدرجة الأولى : إن المفاعيل من الدرجة الأولى المكتشفة بالتجربة تنتج عن ظاهرات انجرار الأثير وعن الموجات التي تنتشر فيه بفعل الأحسام الشفافة . إن التجارب المحققة في هذا المجال المهم كانت عديدة جداً : فقد حصل أراغومند 1818 ثم بعده بكثير ، فيزو Fizeau وهويك Hoek ومسكارت Mascart وميكلسون وأخيراً زيمان Zeeman على نتائج سلبية دائماً .

إن التجربة الأولى من هذا النوع وهي تجربة أراغو استخدمت انكسار الضوء خلال نظام من العدسات . من المعلوم أن فرنل في نفس السنة فسر النتائج السلبية لهذه التجربة بفرضية الانجرار الجزئي . ولكن عند مناقشة إحدى هذه النتائج يمكن اثبات أن قاعدة الانجرار الجزئي ، مع القيمة المرتقبة من قبل فرنل تدعمر بصورة مسبقة كل أمل بالتثبت من أثر من الدرجة الأولى (أي من حد : $\beta = \theta / c$) .

في سنة 1874 فقط استطاع كل من مسكارت وفلمتان ثم بوينيه أن يثبتوا عمومية هذا الاستنتاج الذي لا يرتكز بالطبع إلا على الملاحظة المحتملة للمفاعيل الدرجة الأولى . مع ذلك ، ومنذ ذلك الحين اقترح مسكارت أنه ، في مجال البصريات كما في مجال الحركية ، من المحال تميز نظام مرجع غاليلي مُميز بواسطة تجربة عادية .

المفاعيل من الدرجة الثانية : يبدو إذاً أن الأثير يمكن أن يستخلص من التخلي عن القول بالعدمية طالما أن الأمر يتعلق بالمفاعيل من الدرجة الأولى فقط . ويكفي من أجل هذا اعتماد فرضية الانحرار الحزني ، وأكثر من ذلك أيضاً إذا تعلق الأمر بنظرية ميكروسكوبية ، افتراض وجود أثير غير متحرك ، و « ثنائيات الأقطاب » مجرورة .

وبعد الطريقة التي قدمها لورنتز هذا الأمل بالعثور على ريع الأثير ، كماً في إمكانية المفاعيل من الدرجة الثانية .

وكانت المحاولات الأولى المحققة عن المفاعيل من الدرجة الثانية ، هي التجارب الشهيرة التي أجراها ميكلسون Michelson سنة 1881 ثم ميكلسون ومورلي سنة 1887 .

وهي تقوم على دراسة انتشار شعاعين صوئيين متبقيين من نفس الحزمة المقسومة عند النقطة (M) بواسطة شفرة نصف عاكسة (صورة رقم 6)

ويقطع الأول من هذين الشعاعين الذراع (L₁) من الجهاز الموجه نحو اتجاه حركة الأرض بالنسبة إلى الأثير . أما الشعاع الثاني فيتحرك وفقاً للذراع (L₂) ، عامودياً على الأول ويستخلص فرق زمن الاجتياز بتغيير نظام هذب التداخل . ولكن فرق مسارات الأشعة يبدح حتماً انجرار الأثير ، انجرار يعزى إلى حركة الأرض على مدارها . وتجتاز الأرض مسافة 30 كلم بالثانية . وحركتها مستقيمة بشكل محسوس وواحدة خلال فترة زمنية قصيرة . هذه الحركة يعبر بالتالي عنها بالمعادلة

$$\beta = \frac{v}{c} = \frac{30}{300\,000} = 10^{-4} ; \quad \beta^2 = 10^{-8}$$

إن الدقة في القياسات كانت كافية إلى حد بعيد لبروز مثل هذا المفعول . ولكن النتائج كانت سلبية بشكل كامل⁽¹⁾ . ومن أجل انقاز فرضية وجود الأثير متوافق مع هذه النتائج المدهشة الحركية ، قام كل من فيتر جيرالد Fitzgerald سنة 1893 ولورنتز سنة 1903 بافتراض وجود مفعول اضافي : هو تقلص الأطوال في اتجاه الحركة . وبافتراض أن كل الأجسام (وبخاصة الذراع (L₁) في الانترفيرومتر) تحرك بحركة مستقيمة ومتسقة تتلقى تقلصاً مقداره $\sqrt{1-\beta^2}$ في اتجاه حركتها ، عندها يمكن تفسير النتيجة السلبية لتجربة ميكلسون . وعلى كل كان من الطبيعي الظن أن هذا التقلص كان بدوره ظاهرة قابلة للقياس وقد امكن بالتالي تصور تجارب بقصد اثباتها بشكل منهجي . ولكن المحاولات المتنوعة التي

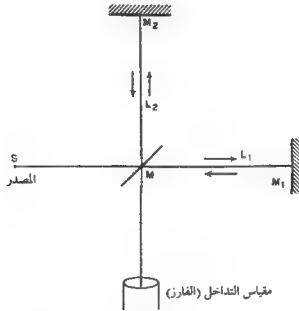
(1) ان التجربة ، المحسة بفضل كندي سنة 1926 ومفضل Illingworth سنة 1927 ومفضل بيكار وستامل سنة 1920 ومفضل جوس سنة 1930 قد أدت أيضاً إلى نتائج سلبية . وكذلك الباتال التي تخيلها تروتون ونوبل سنة 1903 وتروتون ورانكين سنة 1908 وشاز Chase وتوماشك Tomaschek سنة 1927 ، لم تتوصل إلى اكتشاف هواء أثير .

قام بها راييلي Rayleigh سنة 1902 ويراس Brace سنة 1904 وتروتون وراينكين سنة 1908 وود Wood سنة 1937 مع توملينسون Tomlinson وايسن Essen استمرت تعطي نتائج سلبية .

وكان من الواجب عندئذ الظن أن هذه التجارب كانت نوعاً ما مصممة بشكل منهجي . إن وجود هواء أثر كان مغطى بظاهرة أولى هو التقلص الذي كان بدوره مغطى بظاهرة ثانية هي تغير الكتلة بواسطة السرعة .

لو فرضنا أن m_0 هو الكتلة المستقرة لجسم ما ، فإن الحركة المستقيمة والمنسقة تعطيه كتلة مقدارها : $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$

وبفضل سلسلة من الظواهر الطفيلية المتدرجة والتي تبدو كسلسلة من الظروف البائسة ، كان الأثر يعتبر غير موجود .



صورة 6- تجربة ميكلسون .

ولكن تغير الكتلة بواسطة السرعة كان مرتبطاً بالنظرية الميكروسكوبية التي وضعها لورنتز : إن الالكترونات ، وهي مصادر الحقل ، تمتلك بنية قابلة للتغير في شكلها كما تمتلك كتلة كهرومغناطيسية بحسب الصيغة السابقة . والتثبت من تغير الكتلة بتغير السرعة المحققة من خلال تجارب لافانثي بدا وكأنه يثبت وجود فرضية المنشأ الكهرومغناطيسي للكتلة ، أي يثبت أولية مفهوم الحقل . وهذا التثبت أيضاً بدا وكأنه يظهر تدخل هذا الأثر الطفيلي الذي يمنع إطلاقاً إمكانية التثبت من هواء الأثر مهما كان تدرج التقريب المتقنى أو المختار .

وهكذا خصصت وكروست نظرية لورنتز عند نهايتها وجود وتفقو أثر جامد هو دعامة الحقل ، ولكن بذات الوقت اثبتت هذه النظرية الاستحالة المطلقة - لا من حيث الواقع ، بل من حيث القانون - في اثبات وجود هذا الأثر بواسطة تجربة فيزيائية عادية .

الفصل الثالث

السمعيات

منذ البداية ، وبخلال النصف الأول من هذا القرن ذي الأهمية البالغة في مجال تطوير العلم الفيزيائي الرياضي اقترنت اسماء العظام في الرياضيات امثال لاغرانج Lagrange ، ولاپلاس Laplace وبواسون Poisson وغوس Gauss وكوشي Cauchy ، ببحوث نظرية حول الظواهرات الذبذباتية والتموجية احتل فيها الصوت مركزاً مهماً أكيداً .

ويمكن الظن إذا أن تاريخ السمعيات في القرن التاسع عشر ينقسم بسهولة بين فرع نظري وفرع تجريبي . والواقع أن هذا الفرع الأخير هو الذي يشكل ، في حقيقة الواقع العلم الحق في الصوتيات . أما البحوث الكثيرة النظرية فقد بقيت في طي النسيان. ولكن المجريين كانوا ينهلون من بحوث العلماء الرياضيين افكاراً وإيماءات ، بحيث يبدو من الواجب هنا اعطاء مكان لما يسمى بالسمعيات النظرية ، موضحين أن ما يستحق الذكر والايضاح هي العناصر التي استخدمت كدليل في نظر الفيزيائيين .

I - السمعيات النظرية

تحليل الأصوات : ركزت البحوث التي قام بها فورييه Fourier سنة 1822 حول الحرارة ، الاهتمام على السلاسل التريغونومترية الشهيرة ، بعد أن أدرك أوهم Ohm جدواها في التفسير الرياضي للظاهرة الصوتية . إن المعادلة « الجيوية » البسيطة التي اعطت لاستطالة (y) الذبذبة (تبعاً للامتصاص (A) وللفترة الزمنية (T) المعادلة التالية :

$$y = A \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right)$$

قد اخلت المكان امام معادلة رياضية أكثر عمومية هي :

$$y = A_1 \sin \frac{2\pi}{T_1} (t - t_1) + A_2 \sin \frac{4\pi}{T_2} (t - t_2) + A_3 \sin \frac{6\pi}{T_3} (t - t_3) + \dots$$

بحيث أن كل صوت يبدو قابلاً للتحليل بشكل فريد ومحدد جداً ، إلى أصوات بسيطة ، هي الصوت الأساسي T ومتفرعاته وهذا ما يسمى بالهرمونيك .

جاءت إلى غاسبار مونج G.Monge من قبل فكرة وجود هرمونيكيا ، أي أصوات متفرعة من الصوت الأساسي ودورها في تشكيل الجرس ، في حين أن موسيقيين أمثال رامو Rameau واختباريين أمثال كلادي Chladni ، ظلوا مترددين حول هذا الموضوع . ولكن اكتشاف العوريقية رياضية مناسبة مثل سلاسل فورييه لم تكف لحسم النقاش . وتحليل الأصوات لا يمكن أن يجتاز المرحلة التجريبية الخالصة للحساب الرياضي إلا عندما يتم التجريب اللازم من أجل عزل (الأصوات المساعدة) أو الهرمونيكيا . وكان عمل هلمولتز بين 1863 و 1877 ، وبفضل المجسمات الصوتية ، عملاً أثبت أن الأصوات المرافقة هرمونيكيا ، يمكن أن تستخرج من الصوت العام كما يمكن استخراج الألوان من الضوء الأبيض رغم أنها لا تظهر فيه .

التقاطعات والتداخلات ، والخفقات ، والمواقفات : إن تراكب صوتين هو مسألة تتوافق مع مسألة تحليل الصوت . وقد ظل الأخوان ي. هـ. وو. فيسر E.H et W. Weber ، وهما يعالجان هذه المسألة في حالة صوتين بسيطين إنما قد حصلنا على نتيجة مرضية باستخدام علاقة الذبذبات استخداماً متطوراً للجزء المستمر منها ، ولكن الخلاف بين هذه النتيجة والنتائج التجريبية وجه هالستروم Hallström سنة 1831 نحو قانون آخر يستدعي ادخال الفرق بين عدد الذبذبات في ذات الوقت . هلمولتز هو الذي توصل فيما بعد إلى نظرية مرضية حول الضربات . وهي نظرية لم تكتمل إلا بفضل تركيم Terquem وبوسينسك Boussinesq .

وقد انتهى و. فوات Voigt سنة 1890 الجدل حول الأجراس التفاضلية وحول الأجراس المضافة وذلك عندما درس بصورة منهجية معادلة الذبذبات بالنسبة إلى حركة مركبة من ذبذبتين بسيطتين . ودراسة التوافقات ، وهي التي تقوم ، في شكلها النظري على تركيبات وتغييرات في الحركات ، هذه الدراسة تسببت ببحوث رياضية متنوعة دونما نتيجة ملحوظة ولا مستمرة . وبالمقابل ، يجب أن نشير إلى أن الرسيمة النظرية لحسابات المداخلات والتقاطعات كانت الدافع والمحرك نحو أعمال تجريبية جديدة . وقد اوجت المعالجة الرياضية العامة للظواهر الذبذباتية بالبحث عن المشابهات والمائلات بين الظواهر الضوئية والصوتية . والنجاحات التي حققت بالنسبة إلى التقاطعات وإلى الانعكاس والانكسار في مجال الأصوات تثبت أن النتائج الرياضية هي في أغلب الأحيان أقل أهمية من شكلها ومن أسلوب الفكر الذي تنطلق منه .

الانتشار والموجات : إن البحث في الانعكاس والانكسار يعني الدخول في بعد آخر مختلف : فالصوت هو ذبذبة تنتشر . وقد خصصت بحوث كثيرة فيها بين 1815 و 1840 لدراسة الانتشارات . وقد اهتم كوشي بشكل خاص بالضوء وبين في دروسه في الكوليج دي فرانس سنة 1830 ، أن الذبذبات الاعتراضية هي ، في حالة الضوء ، الذبذبات الوحيدة التي تنتشر ، وقد قدم بذلك مساعدة ثمينة لنظرية فرنل . ولكن إذا كان كوشي قد اهتم بتأسيس ميكانيك الأوساط المطاطية إلا أنه اكتفى بملامسة مسألة الموجات الصوتية . في حين لقيت أعماله تطورات مفيدة في مجال المعالجة الرياضية للانتشارات الذبذباتية التي يمكن أن تختلط فيها الذبذبات الاعتراضية والذبذبات الطولية . إن دور الظروف المتعلقة بحدود تعريف الحالة الذبذباتية وتولد التكاملات المتعلقة بالمعادلات التفاضلية بدت واضحة بعد هذا . ولكن صعوبات التطبيق على السمعيات تثنأ ، بالضبط من عدم يقينية الشروط

بالنسبة إلى الحدود ، كما دلت على ذلك عدة دراسات جرت بصورة خاصة حول الأنابيب الصوتية

ومن بين الأعمال النظرية البارزة يجب ذكر أعمال لورد ريلي Lord Rayleigh حول ظاهرة الرنين ، وهي ظاهرة درست بعد فكرة التزاوج المأخوذة عن هويجنس Huygens ، وحيث يحلل الفعل التناوبي ، للجافز والمتلقي ، على أساس مبدأ الطاقة . وإلى ريلي يعود الفضل في تطوير معادلات الحركة ، هذه المعادلات التي تتيح تحديد التبعية المتبادلة للامتصاص وللشكل الظاهر للطاقة . درس كيرشوف سنة 1868 مسألة التمويت وبين وين Wien سنة 1896 تأثير هذا التمويت في التزاوج السمعي : أن الطاقة القصوى لا تتوافق مع الاتساع الأقصى . وتغير طول الموجة في حركة ذبذباتية بفعل انتقال المصدر أو انتقال الراصد هو إحدى النتائج الملحوظة في البحوث النظرية التي تتوجب الإشارة إليها أيضاً . إن هذا التنقل المزو إلى دوبلر Doppler سنة 1842 قد فتح المجال على تطبيقات خاصة جداً بالنسبة إلى الضوء وإلى الفيزياء النجمية . وفي مجال الظواهر الصوتية أتاح تطوّر السكة الحديدية لهذا المبدأ حقن تجريب في متناول الجميع ، وذلك من خلال صفارات القطارات ، ولكنه أثار أيضاً دراسات مخبرية .

الحالات الذبذباتية للأجسام : إن ذبذبة الهواء التي تعطي الصوت هي شيء ، والحالة الذبذباتية للأجسام ، والتي تتسبب ببث الأصوات هي شيء آخر . ونظراً لأهمية مسألة المطاطية وميكانيك الأوساط المستمرة في نظر الرياضيين لا يتوجب العجب من رؤية الباحثين ينحصر من منذ مطلع القرن ببحثهم حول انتشار الذبذبات في نظام مادي . في سنة 1817 قام لابلاس وتبعه بواسون سنة 1819 بوضع نظرية التموجات الطولية داخل قضيب . والرسوم المتخذة من قبل سطوح مطاطية في حالة ارتجاج (راجع الرسوم السمعية عند كلادني Chladni) كانت موضوع دراسات رياضية من قبل صوفي جرمان ومن قبل بواسون (1811 - 1829) ولكن كيرشوف بين في سنة 1850 أن نظرية صوفي جرمان Sophie Germain غير قابلة للتطبيق ، وأن نظرية بواسون تطبق فقط على حالات خاصة . أما الجهود النظرية الخالصة التي أثارها ظاهرة الصفائح المتذبذبة فكانت في النهاية أكثر مساعدة على تطوير الميكانيك العام في مجال المطاطية وتحليل المعادلات ذات الاشتقاق الجزئية ، مما هي عليه بالنسبة إلى مجال السمعيات بالذات ، ومع ذلك لا يمكن تجاهل فوائدها

II - السمعيات التجريبية

تحليل الأصوات : لم تتطور المعدات التجريبية الضرورية لتحليل الأصوات إلا بصورة متأخرة . والمنهج الغرافي (التسجيل) الذي يقوم على نقل الذبذبات التي يجب دروسها إلى رأس ابرة من شأنها ترك اثر لثقلاتها فوق صحن أو فوق اسطوانة دائرة مغطاة بسواد الدخان ، قد ابتكر سنة 1840 من قبل دوهاميل . في حين أن المعدات البصرية التي تتيح رصد نقطة خاضعة للذبذبات (مسلاط) لم يدخلها ليساجوس Lissajous ويعتمدها هلمولتز إلا في الفترة 1857 - 1863 .

ودراسة ظاهرة الرنين ، المعروفة منذ العصور القديمة ، والمدرسة علناً بشكل تجريبي خالص من قبل صانعي ادوات الموسيقى ، كانت ضرورية من اجل الحث على صنع أجهزة تتيح تحليل الأصوات . ثم إن مديوات هلمولتز جاءت بعد الأعمال التي قام بها الأخوان فيير حول النوتات التي

يمكن أن ترسلها بعض الأجسام (مثل اوتار البيانو أو المرنان ، ديابازون) عن طريق الرنين ، وكذلك حول خصائص الامتصاص الذي تقوم به كتلة من الهواء داخل وعاء ما ، وذلك نسبة إلى الذبذبات التي لا تنطبق في حبة اساسية بسيطة ، تبعاً لخصائص الآلة . وقام ر. كونيغ R.König بربط مرنانات بمانو متر ذي هب فاضوح حالتها الذبذباتية وذلك بالحاق مرآة دائرة ، وهكذا استطاع في سنة 1864 أن يرسم محلاً للأصوات . وهذه الآلة اثبتت بذات الوقت المبدأ الأساسي في الرنين : عزل الأصوات الخاصة والبسيطة .

وأخذت الكهرباء تساهم في الموضوع ابتداءً من سنة 1850 ، وذلك على يد دوف Dove من اجل احداث حالة ذبذباتية بواسطة مغناطيس مكهرب وبواسطة تيار كهربائي مقطوع وموصول بشكل متناثر . ولكن ، وحتى سنة 1884 ، استطاع ملد Melde ، بواسطة اجهزة مشابهة دراسة الذبذبات الاعتراضية بوتر مشدود ، وفي سنة 1887 اكمل بولوج Puluj الجهاز وذلك بجعل الحالة الذبذباتية منظورة بواسطة الاضاءة المتقطعة للمبة فوسفورية . واكمل كريغار منزل Krigar - Menzel ورايس Raps اعطاء هذا الجهاز التجريبي كل قوته البحثية وذلك بتزويده بالفوتوغرافيا سنة 1891 و 1893 . ويجب الاشارة إلى أن الطرق الستروبوسكوبية Stroboscopique قد توضحت منذ 1866 من قبل توپلر Töpler الذي وضع ، بتأثير من بولتزمان Boltzmann ، في سنة 1870 ، طريقة مركزة على تقاطعات الأشعة الضوئية الصادرة عن مصدر متقطع ، وبعض هذه الأشعة يجتاز طبقة هوائية ساكنة والبعض الآخر يقطع طبقة من الهواء متذبذبة . وتطور التجريب هو الذي اتاح تصحيح نتائج هلمولتز فيما يتعلق بموضوع الصوت البشري . (فالأحرف الصوتية المدية تتميز لا بأجراس ثابتة مطلقاً بل بارتفاعات محدّدة في الجرس أي بنسب ثابتة من الذبذبة : رابيس ، 1893) ، كما أتاح نمو التجريب توضيح تأثير المدى أو المرحلة (و . تومسون W. Thomson ، 1878) . ان تغيراً في الغنة بحسب مواقع المدى المختلفة يعزى فقط إلى تقاطع في الهرمونيكات أي الأصوات الفرعية (هرمان L. Hermann ، 1896 ، ولنديغ Lindig 1903) .

إن حدود سمع الأصوات ، والقدرة الفاصلة في الأذن ، وحساسيتها تجاه مختلف ارتفاعات الأصوات ، وإدراك الغنة ، كل ذلك كان موضوع العديد من البحوث ، حيث نجد أساء هلمولتز وبولتزمان وتوپلر . وقد اهتم هلمولتز ، بشكل خاص بالتثبت من احدى النتائج التي حصل عليها فير حول حساسية الأذن (التمييز بين صوتين العلاقة بينهما ، من حيث الذبذبة ، هي بنسبة 1000 : 1001) وذلك باستعمال الشعيرات المطاطة المكتشفة في عضو السمع من قبل الطبيب الايطالي كورتى Corti (1846) . وقد درس هلمولتز ايضاً توافق الأصوات وتنافرها انطلاقاً من تطابق الهرمونيكات وتنافرها .

التداخلات : اقترن اسم الأخوين فير بالتجارب الأولى حول التقاطعات أو التداخلات وذلك مع دراسة نقاط الصمت حول مرنان شعيتاه في حالة ارتجاج (1825) . وضع ج. هرشل في سنة 1835 جهازاً مكوناً من انبوب من الزجاج مقسوماً إلى شعبتين الفرق بين طوليهما يعادل نصف طول موجة ، وهذا الجهاز حسنه كنكي Qncke سنة 1866 ثم كونيغ بشكل يجعل غياب الصوت موضوعياً . ويتألف جهاز كونيغ من انبوب يتلقى صوت المرنان بواسطة مضخم ثم ينقسم الى فرعين ينتهيان إلى

كبسولة مانومترية . وكل فرع مزود بلولب يسمح بتغيير طوله ، اما الشعلة المحكومة بالمناومتر والمدروسة بواسطة المرأة الدوارة فتجعل التقاطعات منظورة وواضحة . وهناك نمط آخر من التجربة يقدمها جهاز هوبكنز ، المزود بصحيفة مرعّفة ومقسومة إلى مقاطع بواسطة خطوط « عقديته » (Nodales) ويلتقط الصوت منه بواسطة انبوب بشكل (A) . وعندما يقع الثقبان المعدان للتقاط فوق قطاعات ضيقة من الصحيفة ، نحصل عند المخرج المشترك على الغاء الصوت .

ولكن ظاهرة التقاطع ليست مقصورة على تراكم الذبذبات من ذات الوتيرة . فقد لاحظ ج. اندرياس سورج G. Andreas Sorge في سنة 1744 ، وجيسيب تارتيني Guiseppe Tartini سنة 1754 الصمت الحادث عند تراكم صوتين كما الجدوى التي يمكن استخلاصها بالنسبة إلى تجانس الآلات الموسيقية . وقد اثبت هالستروم Hallström في سنة 1832 الدور الذي يلعبه فرقي عدد الذبذبات . وقد ثبتت هذه النتيجة نظرياً من قبل هلمولتز في سنة 1856 ، ولكن هذا الأخير بين أنه ، إلى الأجراس التضاضلية ، تدخل أجراس اضافية ، كما اثار مسألة موضوعية كل من النوعين . وبين كنكي في سنة 1866 ، بفضل تجارب اجراها بواسطة جهازه للتقطيعات ، ان بعض الأصوات الناتجة ، والمدركة ضمن تراكم صوتين معينين ، تظهر فقط في الأذن وليس لها وجود موضوعي . وفي سنة 1876 عبر كونيغ عن الفكرة التي سبق ان عبر عنها لاغرانج ، ومفادها أن الصمت قد يلحظ ويسمع كطرفة وأنه إذا كانت الوتيرة كافية ينتج عن الصمت نوع من الصوت محسوس ذاتياً

الانتشار والموجات : إن سرعة الصوت في الهواء كانت موضوع قياسات اكثر فاكثر دقة تبعاً لتحسين اجهزة التجريب . وتوصل أراغو Arago وبروني Prony ، وهما يعملان في سنة 1822 ، بجوار باريس من محطتين (فيلجوييف Villejuif ومونثيري Monthéry) بعيدتين بما يقارب ثمانية عشر كيلومتراً و 600 متر ، ثم بواسطة طلقات مدفع بين الطلقة والطلقة 5 دقائق وبالتابو ، عثرا على نتيجة بشأن سرعة الصوت هي 331،2 م/ث في حين أن لجنة هولندية كررت بعد ذلك بقليل تجارب مماثلة في امستردام فتوصلت إلى نتيجة هي 332،26 م/ث .

ومن أجل استبعاد الأخطاء الشخصية المعزوة إلى الملاحظين ، كرر رينيو Regnault في ما بعد أي سنة 1868 التجارب المباشرة وذلك بتسجيل أوتوماتيكي في مركز الرصد وذلك بفضل جهاز كهربائي ، فحدد زمن الانطلاق وزمن وصول الصوت . وكانت النتيجة الوسطى 330،7 م/ث ، وهذه النتيجة ثبتها تجارب ليرو Le Roux .

إلا أن القياس المباشر لسرعة الصوت بقيت مع ذلك عملية عشوائية بسبب العديد من أسباب الخطأ . وفي القرن الثامن عشر كان هناك شكوك حول تأثير درجة الحرارة ودرجة الرطوبة . وقد اثبت تجارب رينيو Regnault من جهة اخرى الظاهرة التي سبق أن اثار اهتمام لابلاس ومفادها أن سرعة الانتشار تكون اقوى بالنسبة إلى الأصوات ذات الزخم الأقوى . فضلاً عن ذلك ازدادت الاستعانة بالطرق غير المباشرة . ولكن الهواء لم يكن الركيزة الوحيدة للذبذبات الصوتية . فكل الغازات تنقل الأصوات . وقد سبق لنيوتن ان اشار إلى أن سرعة الانتشار يجب أن تكون متناسبة عكسياً مع الجذر التربيعي للثقل النوعي $v = \sqrt{\frac{P}{d}}$ حيث تمثل P الضغط و d الثقل النوعي والنتيجة

الحاصلة والمغالطة بخلال القرن الثامن عشر من خلال التجارب المتنوعة ، قد تمّ اصلاحها من قبل لاسلاس الذي ادخل علاقة الحرارة النوعية للغاز الواقع تحت ضغط ثابت وبحجم ثابت : $v = \sqrt{\frac{p}{\rho} \cdot \frac{C}{c}}$. والواقع أن الفضل يعود إلى دولونغ Dulong ، في سنة 1829 في القيام بسلسلة من التجارب من اجل اثبات هذا التصحيح .

وقد اثارت سرعة الصوت في السوائل وفي الجوامد أيضاً اهتمام الفيزيائيين . ويتوجب ذكر التجارب التي قام بها كولادون Colladon وستورم Sturm في بحرة ليمان سنة 1828 لقياس سرعة الصوت في الماء (1435 م/ث) وهي تجارب احرث وفقاً للطريقة المباشرة . كما يجب ذكر تجارب كانثيار دي لانور Cagniard de Latour في سنة 1835 وتجارب ورثيم Wertheim ، 1849 ، وكلها تركزت على الصوت المبثوث بطرق مختلفة ضمن سائل داخل انبوب . وبالنسبة إلى الجوامد لم تستطع تجارب بيوت Biot وورثيم Wertheim إلا استخدام الطريقة المباشرة ، فاصطدمت بصعوبة ضخمة : وجوب استعمال مسافة طويلة من المادة المعتمدة (امثال قساطل الفونت والحفوط التلغرافية) وكذلك مصادر الخطأ الناتجة عن الوصلات ونقاط الارتكاز .

وكان انعكاس الموجات الصوتية عند اصطدامها بالحواجز الثابتة ظاهرة معروفة منذ القدم ومستخدمة في رجع الصدى وفي المكبرات الصوتية . ولكن القرن التاسع عشر ساهم في هذه النقطة مساهمة ملحوظة . فالانتقال من وسط أكثر كثافة إلى وسط أقل كثافة يحدث انعكاساً . وقد قدم الأخوان فيبر اثباتاً على ذلك في Wellenlehre سنة 1825. كما أن تيندال Tyndall لاحظ ذلك في دوفر سنة 1874 عندما درس فعالية الاشارات الصوتية فوق البحر اثناء الضباب . وقد استحدثت الظاهرة في المختبر عندما ادخل بين الأنبوب الصوتي والمهب الحساس طبقة هواء حارة تصرفت كحاجز .

واعطت الموجات الصوتية ، كما الموجات الضوئية نوعاً من الانكسار . وقام سوندهوس Sondhauss بتجربة ذلك سنة 1852 مستخدماً عدسة من الكولوديون مملوءة بالغاز كربونيك الأثقل من الهواء ، مما اتاح له الحصول على صورة للمصدر الصوتي . وفي سنة 1858 اخضع هاجك Hajeck المسألة للاعتبارات النظرية . وفي اواخر القرن اجري هيسوس Hesehou (1890) تجربة بواسطة نصف كرة من خيط حديدي مجدل مملوء بالريش أو السبيخ . وفي سنة 1894 اجري نيرونوف Neyreneuf تجارب بواسطة عدسات ثنائية التفرع من الكوتشوك ، كما اجري بيرو Perrot ودوسو Dussaud 1895 تجاربها بواسطة برميل مملوء بالماء ومحاط بطبقة من الكوتشوك . ودلت التجارب ، كما هو الحال في البصريات على أن معيار الانكسار يعادل نسبة سرعات الانتشار .

وأخيراً تبين أن الموجات الصوتية تحمل الطاقة . والاهتمام الذي وجهه الفيزيائيون إلى هذه الأوجه من الظواهر الفيزيائية أوجب القيام ببحوث حديدية في مجال الصوتيات . وفي سنة 1868 - 1870 نفذ وربورغ Warburg سلسلة من التجارب اثبتت المغايرل الحرارية التي تحدثها كل الأجسام المرعفة وبصورة خاصة عواميد الهواء المرعفة . وقام شامبيون Champion وبيليت Pellet في سنة 1872 باثبات المفعول الكيمائي للصوت، على أسيد اليود الموجود ضمن بالون ، وهو تأثير يمكن أن يحدث انفجاراً

الأجسام المرتجفة : فيما يتعلق بالآوتار ، قدمت تجارب ملدي Melde (1860 - 1864) عنصراً جديداً عندما أثبت تأثير أسلوب الاثارة . فاستعمال المرنان مثلاً ، إذا كان سطح فرعيه يحتوي الحيط (الاثارة الطولية) فإن صوت الوتر يكون بدرجة اوكتاف عميق في المرنان . إذا كان سطح المرنان عامودياً على الحيط (الاثارة الاعراضية) عندها يكون هناك توافق اتحادي . وبالنسبة إلى الصفائح المرتجة تجب الإشارة إلى أعمال ستريهلك Strehlke المثبتة لنتائج كلادني Chladni في حالة الشكل الدائري . اما فيما يتعلق بالشكل المستطلي : فقد انتهى القرن التاسع عشر بتجارب قام بها لورد ريلي سنة 1880 وتانكا Tanaka سنة 1887 دون التوصل إلى مجمل مرض .

وفي مجال الانابيب الصوتية تميز القرن التاسع عشر باكتشاف ظاهرات مهمة تتوافق مع التجربة القديمة التي قام بها صانعو الأرغن . وفي سنة 1829 حدد دولونغ Dulong عن طريق التجربة التصحيح الذي يجب اجراؤه من اجل الحصول على ارتفاع في الصوت الاساسي ضمن انبوب مغلق في طرفه . ودرس ف. سافارت F. Savart في ذات الحقبة الانابيب ذات القطع المستقيم وبين أنه إذا لم يكن للشكل تأثير على الوتيرة ضمن بعض الشروط في المرب ، فإن طبيعة الجوانب تتدخل في ارتفاع الصوت . وفي سنة 1838 رصد هوبكنز مواضع العقد في عامود هواء مرتجف . ونتج عن الأعمال التجريبية أن العقد والبطون لا تحتل قرب الأطراف المواقع النظرية المرتقبة تبعاً لطول الموجة . ودرس ورثيم Wertheim في سنة 1848 - 1850 هذه الاضطرابات ، التي يعزى قسم منها إلى انعكاسات عند الأطراف المفتوحة . وفي سنة 1859 وضع هلمولتز النظرية الكاملة حول الأطوال المختصرة في انابيب الأرغن . ودلت هذه التصحيحات على أن الطريقة غير المباشرة في قياس سرعة الصوت سداً للصوت الميثوث من خلال انبوب ونسبة الطول إلى طول الموجة تقتضي هي أيضاً اتخاذ احتياطات كبيرة .

آلات جديدة : لقد اوجت المناهج التجريبية في التسجيل الغرافي للأصوات إلى اكتشاف اديسون سنة 1877 ، مبدأ الفونوغراف الذي هو في الواقع عكس ما يدل عليه مبنى الكلمة لغوياً . فالفونوغراف يسجل ولكنه يعيد فيما بعد بث الأصوات فيصبح غراموفون . وهذا الجهاز أصبح له فيما بعد مستقبل باهر ولكنه اقتضى أكثر من ثلاثين سنة لوضعه موضع التنفيذ بعد اكتشاف مبدئه .

والتلفون المونكرز على تحول الطاقة الصوتية إلى كهرباء وإلى تحول عكسي ، هو أيضاً من انجازات القرن التاسع عشر . ويعود الفضل في اختراعه إلى العالم في الصوتيات غراهام بل Bell (1847 - 1922) الذي كرّس نفسه بشكل خاص لدراسة الأصوات الحلقية وذلك بسبب قيامه بتعليم الصم البكم ، واختراع التلفون تم انجازه بذات الوقت أيضاً من قبل تقني متفرغ هو اليشا غراي Elisha Gray (1855 - 1901) ولكنه لم يصبح عملياً إلا بعد اختراع الميكروفون من قبل دافيد هيز D. Hughes (1831 - 1900) . وأخيراً تجب الإشارة إلى أن القرن التاسع عشر شاهد وجود أدوات جديدة موسيقية مثل « الساكسات » Sax وأنابيب فردي Verdi ، كما عرف استخدام المعادن في صنع المزامير والآلات الهوائية .

الخلاصة : لقد بذلنا جهدنا من اجل اعطاء القارئ خطاً موجهاً ضمن مادة معقدة وواسعة جداً ولكن اضطررنا إلى اغفال العديد من الوقائع واغفال ذكر اسماء العديد من الباحثين كما اننا اغفلنا ذكر

نتائج مهمة وقد فكرنا بأن التصنيف الدقيق للأفكار ، ولبنية الفكر هو أكثر أهمية من تراكم المعلومات ونأمل أن نكون قد قدمنا مدخلاً صحيحاً لمن عنده ميل إلى دراسة الدقائق الواضحة ، بحيث يجد بسهولة مطلبه لدى الكتاب الكبار . إن علم الصوتيات في القرن التاسع عشر هو علم شاهد وهو مفترق طرق تلتقي فيه انجازات العلوم الرياضية والفروع الأخرى من الفيزياء حيث تراد الوقائع التجريبية الجديدة ، المولدة لأجهزة ذات مدى ثقافي واجتماعي .

الفصل الرابع

الكهرباء والمغناطيسية

1790 - 1895

في بداية الثورة الفرنسية ، تم اكتشاف كل المبادئ الأساسية في الكهرباء الستاتية وفي المغناطيسية الستاتية . وقد أوضح فرانكلين فكرة الشحنة الكهربائية ، ثم أعلن مبدأ حفظ الكهرباء . وحدد « كافنديش » Cavendish طاقة الموصل ودرجة كهرته (وهو ما سمي فيما بعد بالزخم الكامن) . اما كولومب Coulomb فقد وضع قانون المربع العكسي للمسافات بالنسبة إلى تفاعل الشحنات (أو الكتل) الكهربائية فيما بينها ، كما حدد القطب المغناطيسية . وبدأ بدراسة توزيع الكهرباء فوق سطح الموصلات ، دراسة تجريبية ونظرية . وأخيراً عرف أنه لا توجد أقطاب مغناطيسية حرة ، وأن مغنطة أي جسم تتحدد بعزمه المغنطيسي وأن هذه اللحظة تنتج ، أحياناً عن عزوم ذاتية في كل جزيئاته (راجع مجلد الكتاب الثاني من القسم الثالث) .

وفي سنة 1790 بدأت إحدى المراحل الأكثر اسراعاً في كل تاريخ العلوم ، وهي حقبة تم في نهايتها اكتشاف البطارية والتيارات الدائمة من قبل « فولتا » ؛ وفيها تم اكتشاف الروابط بين الكهرباء والمغناطيسية ، وبين الكهرباء والمادة ، كما فتحت الطريق أخيراً أمام كل الصناعة الكهربائية الحديثة . ولكن قبل الشروع بوصف هذه الثورة العجيبة ، نشير إلى كيفية متابعة الفيزيائيين الرياضيين من بداية القرن التاسع عشر ، أعمال « كافنديش » و « كولومب » ، وكيف قاموا بإنهاء ربط هذه الأعمال بمبادئ الفيزياء النيوتونية .

1- ولادة نظرية الزخم الكامن (أو الجهد)

الجهد النيوتوني : لقد كان عمل الخلفاء المباشرين لـ « كافنديش » و « كولومب » رياضياً في أساسه : فطوروا نظرية الجهد - والأعمال المتغيرة بصورة عكسية تبعاً لمسافات - وطبقوا هذه النظرية على الكهرباء وعلى المغناطيسية ، فاعدوا بواسطة الحساب لدخول فكرة حقل القوى - وبصورة اعم حقل الأسهم الموجهة (Vecteurs) - إلى مجال الفيزياء .

وبعد 1777 كشف لاغرانج Lagrange ووسط نظرية الجذب عدداً لكل نقطة من الفضاء وظيفة ، أي مجموعاً لكل الكتل الجاذبة مع قسمة كل منها بعدها عن هذه النقطة ، وهذه الوظيفة ليست إلا « الجهد النيوتني » ، والذي يكفي لحساب كل القوى .

في سنة 1782 بين لابلاس ان هذه الوظيفة $V(x, y, z)$ تكفي ، خارجاً عن الكتل الجاذبة ، لمعادلة ذات اشتقاق جزئية ، « معادلة لابلاس » التي اصبحت شهيرة ومهمة جداً في كل مجالات الرياضيات .

عمل بواسون Poisson : في سنة 1813 وضع بواسون هذه الحسابات في مناطق تتضمن المادة ، أو الكهرباء ، وهذه المناطق موزعة بنوع من الكثافة . وتوصل إلى وضع معادلة تحمل اسمه ، وهي اكثر عمومية من معادلة لابلاس ، والتي هي التعبير « المحلي » ، المبهم نوعاً ما ، لقاعدة اكتشافها غرين Green (1828) ثم عثر عليها تحت اشكال اخرى . شال M.Chasles (1837) ثم غسوس (1839) : شكل دفق السقوة (وتكلم اليوم بدقة اكبر - مستمد من مكسويل وفراداي - عن الدفق الخفي) ، هذا الدفق الذي يخرج من سطح مغلق يساوي أربعة اضعاف π مضروبة بالمجموع الجبري لشحنات الكهرباء (أو الكتل الجاذبة) الواقعة داخل هذا السطح . ولكن مفهوم الدفق في القوة لم يستخرج إلا فيما بعد من قبل الرياضيين ، ثم بشكل اكثر استقلالاً ، واكثر الهاماً من قبل فراداي (1831) .

وبنفس العمل توصل بواسون إلى دقة في حل مسألة كان كولوم قد بحث لها عن حل نظري تقريبي بعد أن كان قد أجرى لها دراسة عملية دقيقة ، وهذه المسألة هي مسألة توزيع الكهرباء على جهاز مؤلف من كرتين .

وانطلاقاً من مبدأ أن « حصيلة مفاعيل الطبقات الكهربائية السطحية التي تغطي الموصلات ، فوق نقطة ما مأخوذة داخل هذه الموصلات ، يجب ان تكون معدومة » ، توصل بواسون إلى ان الدالة (V) يجب أن تكون مستقرة في كل حجم الموصل (الذي تقيس هذه الدالة درجة كهربته) . ثم حصل عن طريق حساب صعب ، بشأن كثافة الكهرباء في كل نقطة من سطح الكرات ، على صيغ واضحة تثبت بها تماماً المعطيات التجريبية التي قام بها كولوم .

ج. غرين G.Green وش. ف. غوس C.F.Gauss : اطلق جورج غرين في كتابه « محاولة لتطبيق التحليل الرياضي على نظرية الكهرباء والمغناطيسية » ، على الدالة (V) اسم « الدالة الجهدية » وأوضح ، في هذا العمل الذي صدر سنة 1828 ، والذي بقي شبه مجهول حتى إعادة طبعه سنة 1850 - خصائص هذه الدالة واستخدامها من اجل تبين بعض القواعد المهمة سواء بالنسبة إلى الرياضيات عموماً أم بالنسبة إلى الكهرباء والمغناطيسية وخاصة قاعدة « الشاشات الكهربائية » المفيدة جداً من الناحية العملية ، والتي عثر عليها فراداي سنة 1837 عن طريق التجربة .

واستعملت كلمة « جهد » من قبل غوس Gauss بدون معرفة غرين ، وذلك في عمله لسني 1839 - 1840 : « قواعد عامة حول قوى الجذب والدفع تبعاً لعكس مربع المسافات » .

بواسون ونظرية المغناطيسية : أما علم المغناطيسية ، فبواسون هو الذي وضع اسسه النهائية في كتابه الرائع « مذكرة حول نظرية المغناطيسية » والمقدم إلى أكاديمية باريس سنة 1824 . وهنا أيضاً ينطلق من افكار كولومب : « في عملية المغنطة يبدو السائلان الشمالي والجنوبي ، والمجتمعان في حالة الحياذ ، قريبين جداً من بعضهما البعض » وربما « في الجزئيات من ذات الأجسام المغنطة » ، وفي كل الأحوال في مجالات « ابعادها متناهية الصغر إلى اقصى حد » .

ويجب أن نلاحظ التردد في توضيح الفرضيات الجزئية في حين أن فرضية السوائل المغناطيسية تبدو جد طبيعية . وهذا امر تجزأت به عقول كثيرة في تلك الحقبة . ومع ذلك فقد كان امير Ampère قد صاغ نظريته حول « التيارات الجزئية » .

هذه المبادئ بعد وضعها مكّنت بواسون من تحديد حالة جسم مغناطيسي بواسطة مقدار ما فيه من مغنطة ، وهي كمية موجهة أو سهم (Vecteur) يمكن أن تتغير بشكل مستمر - أو متقطع - من نقطة إلى أخرى ، وتقاس محلياً العزم المغناطيسي في وحدة الجسم . ثم حسب في ما بعد في كل نقطة خارجية للجهد - دون أن يسميه بهذا الاسم - كما حسب « الزخم المغناطيسي » (الحقل) . وذلك بعد أن يكون هذان اي الجهد أو الزخم ، قد استُحدثا بفضل توزيع معين للمغنطة داخل الأجسام . وبين أن الاقطاب المغناطيسية تظهر ضمن المناطق التي تتجمع فيها أو تتناثر فيها الاسهم الأخيرة .

ثم أخذ يعالج نظرية المغنطة بالتأثير : فالعرض مادة مغناطيسية مثل الحديد الأبيض تتألف من عدد كبير من الكرات الصغيرة « الكاملة التوصل للموائع المغناطيسية » . وتحت تأثير حقل خارجي تنتقل هذه السوائل وتتراكم على جانبي سطح هذه الكرات بشكل يلغى فيه الحقل الداخلي - تماماً كما تفعل السوائل الكهربائية داخل كرة من النحاس - وهذا التنقل يعطي لكل كرة عزمًا مغناطيسياً ويعطي للمادة المنظورة مغنطة تساوي الحجم الذي تحتله هذه الكرات داخل وحدة الحجم .

وبهذا الشأن توصل إلى حساب الحقل الذي يسود ضمن تجويف كروي محفور داخل مغناطيس وقد نوشت الأفكار الجديدة الخاصة - رغم أن بعضاً من هذه الفرضيات الأساسية ، وهي فرضيات الموائع المغناطيسية والكرات الموصلة ، لم يمكن الاحتفاظ بها - قد نوشت ووضحت بخلال القرن التاسع عشر وخاصةً من قبل وليام تومسون . ولكن النتائج الأساسية التي حصل عليها بواسون ظلت غير ممسوسة وبقيت نظريته كلاسيكية .

نظرية المثوية الكهربائية : في سنة 1847 نقل موسوتي Mossotti أفكار بواسون إلى حالة المثويات الكهربائية ، التي كان فراداي - بعد كافنديش - قد عرف خصائصها منذ عشر سنوات . واصبحت حساباته اساس نظرية تكثيف المثويات . وحملت صيغة بواسون التي وضعها من اجل حقل التجويفات الكروية اسم لورنتز (الذي ناقش شروط صحتها) ، وذلك في نظرية المثويات .

II - اختراع البطارية الكهربائية

تجارب غالفاني Galvani : في سنة 1780 اصدر لويجي غالفاني (1737 - 1798) ملاحظة عابرة نشرها فقط سنة 1791 في مذكرة عنوانها « De Viribus electricitatis in motu musculari »

« بعد تشريح وتحضير ضفدعة ، وضعتها فوق طاولة حيث توجد آلة كهربائية على مسافة قريبة . وحصل أن قُرب أحد مساعدي رأس مجسم من العصب الفخذي الداخلي للضفدعة: وفي الحال اضطربت عضلات اطرافها اضطراباً عنيفاً » . ولاحظ مساعد آخر « أنه في نفس اللحظة صدرت شرارة كهربائية عن موصل الآلة . وكنت أنا مشغولاً بشيء آخر . وعندما ابلغت الحادث رغبت كثيراً في اجراء التجربة بنفسى لاكتشاف المبدأ الكامن فيها » .

وشعر كالقاني في الحال أنه عثر على اكتشاف مهم . لقد اكتشف كاشفاً حساساً جداً للتيارات الكهربائية أو الشحنات الكهربائية ما يزال غير مدروس . وهذا الكاشف سوف يبين له طريقة جديدة في انتاج الكهرباء (إذ لم يكن قبل ذلك بالامكان انتاج الكهرباء إلا بالحلك وبالتأثير الكهربائي الساكني) وأخذ بعد ذلك يبذل في ظروف تجاربه .

وذات يوم عاصف لاحظ أن الكهرباء في الجو تحدث نفس المفاعيل التي تحدثها آتته . اما في الطقس الصحو فلم يكن من الممكن ملاحظة أي حدث ، إلى أن جاء اليوم الذي ثبت فيه في النخاع الشوكي للضفدع علاقة من النحاس . وسُكّر الحلقة بعد أن علق هذه العلاقة في شريط حديدي : وأخذت الاختلاجات تظهر حالاً . وعزا كالقاني ، في بادئ الأمر ، هذه المفاعيل التي يمكن اعادة احداثها مجدداً إلى التأثيرات في الحالة الكهربائية في الجو . إذ من السهل ، عند اجراء التجارب ، الإخطاء ثم التخيل بأننا نرى فعلاً ما نتمنى أن نراه . « ولكنني اخذت الحيوان الى غرفة مغلقة ، ووضعت فوق شريحة من حديد . وعندما لمست الشريحة بواسطة علاقة النحاس المثبتة في نخاعه لاحظت نفس التقلصات الإختلاجية كما في السابق . وجربت معادن أخرى وحصلت على نفس النتيجة ، اما بصف مختلف . اما بعد استعمال اجسام غير موصلة فلم يحدث شيء . وبدا هذا عجباً مما حلني على الظن بأن الكهرباء كانت موجودة في الحيوان ذاته ، وهذا الظن قد تأكّد عندما لاحظت وجود نوع من التيار العصبي اللطيف (الذي يشبه التيار الكهربائي في قنبلة ليد Leyde) يحدث بين الأعصاب والعضلات عندما تحدث التقبضات » .

وتسك كالقاني طيلة حياته بنظرية الكهرباء الحيوانية وقارنها بقنبلة ليد بحيث يكون العصب هو الدرع الداخلي والعقل هو الدرع الخارجي (إن البحوث اللاحقة حول الكهرباء الحيوانية قد وردت في دراسة ج. كانغيلهم في الفقرة 3 ، الفصل 6 ، الكتاب 1 ، القسم 5) .

تدخل فولتا **Volta** : في هذه الحقة كان اليساندرو فولتا (1745 - 1827) منذ 1779 استاذاً في جامعة باثي . وفي سنة 1771 اكتشف الألفروفور electrophore ، وهي أول آلة كهربائية ذات تأثير ، وأسهل في الكثير من النواحي من آلات الحلك أو الحث . وقد مكتته هذه الآلة ذات التأثير ، كما مكنت معاصريه ، من اجراء العديد من التجارب الجديدة . في سنة 1781 صنع الكترو متراً حساساً سواه القش ، وهو تمحيز لجهاز وضعه دوفاي Du Fay ، وحوله بنيت Bennet ، في سنة 1787 ، إلى الكترومتر ذي أوراق من ذهب . وفي سنة 1782 رقق فولتا الشفرة العازلة في « الكترو فور » إلى اقصى حد ، بحيث اصبحت طبقة بسيطة من الدهان تغطي سطحاً معدنياً . وهكذا تم له الحصول على المكثف . واصبحت الكلمة كلاسيكية ولكنه هو الذي وضعها . والآلة لا تختلف ، من حيث

المبدأ عن مريع فرنكلين Franklin الزجاجي . وبواسطة هذا المكثف المضموم إلى الالكترومتر ، تم له فيما بعد التثبت مباشرة من الكهرباء المحملة بفعل تلامس المعادن .

نشير أخيراً إلى الأيديومتر (أنبوب لتحليل الغازات) eudiomètre ، حيث تم له فيه ، عن طريق الشرارات ، تركيب الماء .

وبعد 1792 فهم فولتا أهمية اكتشاف غالفاني : فأعاد تنفيذ تجاربه وقبِلَ نظريته . وفي سنة 1793 لاحظ ، وهو يدقق في الملاحظات التي وضعها في سنة 1754 السويسري سولزر Sulzer أنه إذا وضعنا اللسان بين رقاقتين معدنيتين من معدنين مختلفتين ، موصولتين بواسطة خيط معدني ، نشعر بأحاسيس أسيدية أو حارقة بحسب مرتبة المعدنين ، كما لاحظ أننا نحس نفس الأحاسيس إذا وضعنا فوق اللسان موصولاً يتصل بالقطب السليبي والالجابي في آلة كهربائية . هذه التجارب البسيطة اتاحت له وضع تصنيفه الكهربائي للمعادن .

وقد قاده هذا ، في نهاية 1793 ، إلى رفض نظرية الكهرباء الحيوانية التي قال بها غالفاني . وبين أن عضلات الضفدعة لا تنقبض إذا كان « القوس » الذي يسر الحلقة الكهربائية مكوناً من معدني وحيد مشوي تماماً .

أول بطارية كهربائية : في رسالة أرسلها فولتا إلى غرين ، وكتبها سنة 1796 نجد أوضح تعبير عن فكرته قبل اختراع البطاريات بقليل : « إن تلامس الموصلات المختلفة ، وخاصة المعدنية منها ... والتي نسميها موصلات ناشقة أو من الدرجة الأولى ، مع موصلات رطبة ، أو من الدرجة الثانية ، تنبه السائل الكهربائي وتعطيه دفعاً أو حفزاً . حتى الآن لا نستطيع الإفصاح عن كيفية حدوث ذلك ، ولكن يكفي أن يكون هذا امرأ واقعاً وامراً عاماً . وهذا الحفز سواء كان جذباً أو دفعاً أو حفزاً مهما كان نوعه ، يختلف وهو غير متساو ، سواء بالنسبة إلى الفرق بين المعادن أو بالنسبة إلى مختلف الموصلات الرطبة ... من ذلك ، وفي كل مرة نضع : فيها ضمن دائرة كاملة من الموصلات ، إما موصلاً من الدرجة الثانية بين موصلين من الدرجة الأولى ، مختلفين فيما بينهما ، أو موصلاً من الدرجة الأولى بين موصلين مختلفين أيضاً من الدرجة الثانية ، يحدث ، وبحسب القوى الغالبة ، إلى اليمين أو إلى اليسار تيار كهربائي ، وتحول هذا المائع ، لا يتوقف إلا بعد قطع الحلقة ، ثم يعود من جديد كلما أعدنا تشكيلها . »

والمبدأ لا يمكن استخراجه بأكثر من هذا الوضوح . ولكن المقاميل الملحوظة بقيت ضعيفة : إن عضلات الضفدعة وإحساسات الذوق فوق اللسان بقيت حتى ذلك الحين الكشف الأكثر استعمالاً علماً بأنه في نفس السنة (1796) لاحظ فابروني Fabbroni من فلورنسا أنه إذا غطسنا في الماء شترتين من المعادن مختلفتين ، تلامسان فإن أحدهما من الزنك مثلاً - تتأكسد ، وفهم من ذلك أنه لا بد هنا من وجود رابط بين الظاهرتين الكهربائيتين والكيميائيتين . أنه في بداية السنة 1800 اخترع فولتا بطاريته . وبدا زخم الظواهر المرصودة مشهوداً وقد لفت انتباه العالم كله . وكانت أول نشرة عن اكتشاف البطارية قد وردت في رسالة موجهة إلى السير جوزيف بنكس Joseph Banks رئيس الجمعية الملكية في آذار 1800 . ومن المعلوم أن جهاز فولتا هو بطارية ذات مزدوجات من الصحنون من الزنك والنحاس المتلامسين

تلامساً مباشراً ، وكان كل مزدوج منفصلاً عن التالي بكرة وتوتة .

الظواهر الالكترووليتية وتفسيرها: في نفس هذه الرسالة يوجد التوضيح والتبيين - بواسطة الالكتروسكوب المكثف - لكون صفيحة من النحاس وصفيحة من الزنك متلامستين ، تأخذان ، عند فصلهما ، النحاس شحنة سلبية والزنك شحنة ايجابية . « والكهرباء الحيوانية » التي قال بها غالvani كان يمكن ان تسمى ايضاً « كهرباء معدنية » : لأنها لا تختلف في شيء عن الكهرباء العادية . وهناك رسالة مؤرخة في شهر آب سنة 1801 تركز ايضاً على هذه النقطة : « ان مفعول البطارية هو مفعول حاشدة كهربائية كبيرة جداً مشحونة ، ويتجدد شحنها دائماً وفي كل لحظة » .

وفي 7 تشرين الثاني و 20 منه من سنة 1801 قدم فولتا جهازه إلى « معهد فرنسا » Institut de France أمام بوناپرت الذي منحه ميدالية ذهبية . وهناك تقرير من بيوت Biot يذكر النقاط الأساسية في هذه المداخلة . في حين أنه أخذ بعض الوقت ، كان فولتا يستعمل - ودون تمديد دقيق - كلمات « دفعة من المائع الكهربائي » ، في هذا التقرير ظهرت بوضوح « قاعدة الدفعات أو التوترات » : إن معدنين تفصل بينهما معادن أخرى ، يتصرفان كما لو كانا على اتصال مباشر . والحلقة المغلقة المعدنية الخالصة لا يمكن ان تحدث تياراً . ويوجد في الرسالة ايضاً سلسلة من المعادن ذات الكهرباء الايجابية المتنازلة ، من الزنك إلى الفضة ، كما يوجد ايضاً ذكر للقياس (الذي يغلب عليه الطابع النوعي) قياس توتر التلامس .

ومع ذلك إن دور الموصل السائل ، أو من الدرجة الثانية ، لم يكن قد استخلص بعد بوضوح ، من وجهة النظر النظرية . ويبدو ان هذا الدور كان بالنسبة إلى فولتا دوراً سلبياً : فالسائل كان يؤمن بين معدنين اتصالاً وثيقاً ، يتيح مرور الكهرباء من معدن إلى آخر . وفي تلك الحقبة ، كان مفهوم الطاقة ما يزال مجهولاً من الناحية التطبيقية . وإذا يجب عدم التعجب من الاكتفاء بالكلام عن قوة تعطي دفعة للمائع الكهربائي ، دونما تساؤل عن وجود حركة دائمة في هذه الصورة ، وكذلك التساؤل عن كلفة الحصول على هذه الشحنات وهذه التوترات المتجددة دائماً .

ومع ذلك فقد كانت المسألة محلولة . ففي نيسان سنة 1800 على الأقل اكتشف كارليس Cartlisle ونيكولسون Nicholson مصادفة ، تحلل الماء بواسطة التيار الكهربائي (ظهور الهيدروجين على قطب ، واكسدة القطب الآخر) . وفي تشرين الثاني سنة 1800 عاد همفري دافي Humphry Davy ، وعمره 22 سنة إلى هذه التجارب ، واستلمهم افكار فابروني Fabbioni واستنتج ما يلي :

« إن بطارية فولتا تعمل فقط عندما تكون المادة الموصلة التي تفصل بين الصفائح قادرة على اكسدة الزنك . والقوة التي تمكن البطارية من تحليل الماء ومن اعطاء صدمات يجب ان تتناسب مع كمية الاوكسجين الذي يمتزج في الزنك في زمن معين . ويبدو من المقول الاستنتاج - رغم ان الوقائع المعروفة حالياً لا تسمح لنا اصدار تفسير صحيح - بان اكسدة الزنك في البطارية ، والتغيرات الكيميائية التي تنتج عن هذه الاكسدة هي بنوع من الأنواع سبب المفاعيل الكهربائية التي تحدثها هذه الصفائح . وفي ما بعد فكك دافي ، بواسطة التيار ، الصودا والبوتاس المذابين فاكتشف بالتالي

الصوديوم واليوتاسيوم . ويجعل هذه البحوث حول المفاعيل الكيميائية للتيار الكهربائي ولانتاج التيارات بواسطة التفاعلات الكيميائية ، أوصل دافى إلى الفكرة القائلة « ان الجذببات الكهربائية والكيميائية تنطلق من نفس السبب » . ولكنه عرف أيضاً ، انه من اجل فهم هذه الجذببات ، لا بد من وجهات نظر مختلفة وجديدة تماماً حول الاعمال الجسيمية » .

وطور برزيليوس Berzelius ، ابتداءً من 1812 افكار دافى Davy ، وصاغ منها نظرية كهركيميائية للمادة ، باعتبار أن كل مزيج كيميائي هو اتحاد مكون كهربائي ايجابي مع مكون كهربائي سلبي . وقد كتب لهذه النظرية ، - الخاصة جداً بنوع من الأنواع ، من وجهة نظرنا الماصرة - ان تتطور وان تقدم خدمات جلى ، ثم تصعدهم باعتراضات خطيرة ، خاصة من قبل الكيميائيين العضويين ، وهي اعتراضات يثيرها بحق اكتشاف الألكتروليت والكتنا .

وظل هذا الحدث عامضاً : وهو ظهور نتائج التفكك - تفكك الماء مثلاً - فوق الأقطاب المعدنية الغاطسة في السائل ، دون ان يتم العثور على اثارها في مكان آخر . وفي سنة 1806 ، تخيل غرونوس Grotthus ، ثم ديفي ، من جهته ، نظرية تتكهن ببعض نظراتنا الحاصرة حول حركية الايون (H^+) والايون (OH^-) :

يدرس القطبان مفاعيلهما الجذبية والدفعية على الهيدروجين والأكسجين في جزيئات الماء الأكثر قرباً . فـ « المعادل » الهيدروجيني ، الذي يجذبه القطب السلبي ، ينبثق منه ويمرر معادلاً أو أكسجيناً يدفعه نفس القطب عنه فينتج على الفور مع هيدروجين جزئي الماء المجاور ، وهكذا دواليك ، شيئاً فشيئاً حتى القطب الآخر الذي يكفي جذبه لاختراج الأكسجين .

وبعد مضي عشرين سنة ، افترض اوغست دي لاريف Auguste de la Rive - من اجل توضيح تسرعية الظاهرات التي قدمتها الحلول - ان المكونين يسيران باتجاه معاكس من طرف إلى آخر في السائل . وهذه الفكرة سوف يطورها فراداي ثم كلوسوس Clausius وأخيراً أرهينيوس Arrhenius .

III - اكتشاف الكهرمغناطيسية

تجربة ارستيد Ersted وصدها . يبدو انه قد تم منذ الثلث الأول من القرن الثامن عشر ، رصد مغنطة الحديد بواسطة الصاعقة وأن هذا الحدث كان معروفاً ومشهوراً . وهذا ما أدى إلى البحث عن وجود رابط بين المغناطيسية والكهرباء . ولكن للأسف لم يكن ينظر إلا إلى الكهرباء المتوازنة ، بشكل عام . وقد ظلت هذه المحاولات بدون جدوى . وهذا ما حدث للتجارب الأولى التي قام بها ، بهذا الشأن ، وابتداءً من سنة 1807 ، هانس كريستيان ارستيد Hans Christan Ersted (1777 - 1851) . ولكن ، في سنة 1820 خطر لهذا الأخير « أن يمد قسماً مستقيماً من خيط (يمر به تيار تحته بطارية) فوق ابرة مغناطيسية وعلى موازاة اتجاهها » .

فلاحظ أن الأبرة تترك موقعها ، وأن القطب الموجود تحت القسم من الخيط - الموصل الأقرب إلى القطب السلبي من الجهاز الغالطاني (غالفانومتر) تنحرف نحو الغرب . . . وإذا كان الخيط مركزاً بشكل افقي تحت الأبرة ، فإن المفاعيل تكون هي ذاتها ، تقريباً ، كما لو كانت هذه المفاعيل باتجاه معاكس . ونشرت هذه التجارب - باللاتينية - في 21 تموز سنة 1820 في كوبنهاغن ، ثم في المانيا ، وانكلترا

وفي فرنسا . وتُبَحِّثُ الطريقُ في كل البلدان انصرف الفيزيائيون ، ومن بينهم بعض الأعظم ، امبير ، اراغو ، بيوت Biot وفراادي ، إلى العمل . وفي آخر سنة 1820 ، أصبحت كل القوانين الكمية التي تحكم هذه الظواهر معروفة . وفي ما بعد عدة سنوات (1826) انتهى امبير نظرية ظلت طيلة نصف قرن غموضاً . في حين نشر فراادي سنة 1821 أول سلسلة من كتابه : « بحوث تجريبية حول الكهرباء » .

وفي ما يلي نعرض استنتاج ارستيد من ملاحظاته النوعية : « نعطي للأفعال التي تحدث في الموصل وفي الفضاء المجاور اسم « صراع كهربائي » . ولا يعمل الصراع الكهربائي إلا على الجسيمات المغناطيسية في المادة . . . هذه الجسيمات تقدم معارضة لمزور الصراع ولكن نجعل في صدمة الأعمال المضادة . ويبدو سناً للوقائع المعروضة أن الصراع لا يحصر بالخط الموصل ، بل يشكل حوله كرة نشاط لا حدود لها . . . ويشكل زويزة حول الخط . . .

وكل الأحداث الملحوظة تفسر بسهولة إذا افترضنا أن القوة أو المادة الكهربائية السلبية ترسم حلزوناتاً إلى اليمين وتؤثر في القطب الشمالي . . . وإن المادة الكهربائية الايجابية لها حركة ذات انحاء معاكس كما تمتاز بالتأثير على القطب الجنوبي دون التأثير على القطب الشمالي .

وهذه اللغة هي لغة ديكراتية وتقريباً لوكريتيه Lucretien ، كما انها بذات الوقت استباقاً إنما برسمه ميكانيكية لأفكار بعض الفيزيائيين من القرن التاسع عشر الذين وصلوا إلى الذروة بأفكار فراادي ومكسويل علماً بأن التيارات لم تكن إلا خطوط زويزة الحقل المغناطيسي .

وافترض ولاستون ، بعد ذلك بقليل أن كل خيط يمر لتيار كهربائي هو محور زويزة وحيدة يمر معه القطب الايجابي للمغناطيسات ، وهذا ما يسط صور أورستد وذلك بحرمانها من تقابلها ومن مفهوميتها الميكانيكية للظاهرة ، كما مهد امام العمل الايجابي الذي قام به فراادي .

الدراسات الكمية الأولى . القانونان الأوليان : جرت الدراسة الكمية للتفاعلات بين المغناطيسات والتيارات ، بشكل بسيط وكامل من قبل سافارت وبيوت (30 تشرين أول 1820) . وقاس هذان العالمان ذات تاراجع ابرة مغناطيسية تبعاً لبعدها (عن تيار مستقيم غير محدد) ووجدا أن القوة العاملة في الخط الموصل تتوجه عامودياً بالنسبة إلى الخط النازل من هذا القطب فوق الخط الموصل وأنها تتغير تبعاً عكسياً للمسافة .

من هذه التجارب والنتائج الحاصلة بعد ذلك بقليل على يد هذين الفيزيائيين بيوت وسافارت على خيوط موصولة ، استنتج لابلاس ما يسمى اليوم بقانون بيوت وسافارت ومفاده : يجارس مطلق عنصر من التيار ، أي عنصر من خيط ds المحثوت بتيار i ، على قطب الشمال المعادل للوحدة ، والواقع على مسافة r قوة تساوي dH عامودية على السطح المار بالقطب والعنصر ds (السطح r ، ds) وقيمتها : $dH = i ds \sin \theta / r^2$ (1) باعتبار θ تساوي زاوية السهمين r و ds . إن هذه القوة (أو الحقل المغناطيسي الأولي) تتوجه نحو يسار وناظر امبير السطح فوق ds باتجاه التيار ، ناظر إلى القطب .

حدث مهم : هذه القوة الأولية لا تتبع المستقيم الذي يجمع بين القطب والعنصر ، إنما و مفعول

اعتراضي . ولاحظ أرستد عاجلاً أن نقيض القطب المغناطيسي يجب أن يؤثر على عنصر من عناصر التيار ، وأن القوس الغالفاني (وهو قوس تحصل سنة 1820 على يد لاريف La Rive بين قطبي الكترول ، الفنجم) يجب أن يتحور بفعل المغناطيس ، وهذا امر قد حصل الثبت منه سنة 1821 من قبل دافي : وهذا الأثر كان عامودياً على الأثر المتحصل لقطب مغناطيسي ، أي لما نسميه اليوم الحقل المغناطيسي أو الشحن : وهو إذاً قوة اعتراضية

في الهواء يمارس الحقل المغناطيسي H (أو القوة التي تعمل على قطب شمالي يساوي الوحدة) في الدراسات الحديثة الأكثر دقة ، ليس الحقل H بل الحث B هو الذي يظهر في هذه المعادلة ، وفي الوحدات الكهرومغناطيسية يختلط السهمان عملياً في الهواء (على عنصر من التيار ids يشكل مع H زاوية θ ، قوة (dF) عامودية على سطح السهمين H و ds لها قوة مطلقة تساوي $dF = H \cdot ds \sin \theta$) تنبج نحو يسار ناظر امير الذي ينظر باتجاه الحقل .

هذه الصيغة المعاكسة ، بنوع من الأنواع للصيغة السابقة ، تعزى غالباً إلى لا بلاس . وعلى حد علمنا نجدها مفسرة لأول مرة ، بشكل تجريدي نوعاً ما في مذكرة لأمير وفيها يحسب هذا الأخير مفعول حلقة كهربائية مغلقة على عنصر من عناصر التيار (راجع المعادلة (2bis) ، ص 236) .

إن وجود هذه المفاعيل الأولية المعترضة قد لفت انتباه الفيزيائيين في مطلع القرن التاسع عشر وأزعجت أولئك الذين كانوا متعلقين بوجهة نظر نيوتن لأن هذا المفعول كان مناقضاً لمبدأ تعادل الفعل وردة الفعل . ولاحظ امير Ampère بسرعة أنه رغم هذا الشكل الاعتراضي كانت ردات الفعل بين حلقتين مغلفتين أو داخل حلقة مغلقة على قطب مغناطيسي ، تتوافق مع هذا المبدأ ، علماً بأن كل الحلقات الكهربائية المدروسة في ذلك الزمن كانت مغلقة . ومع ذلك فقد كان من الطبيعي أن يحاول رد هذه الحركات ، عن طريق الحساب إلى قوى تعمل دائماً بين جزئين ماديين تبعاً للمستقيم الذي يجمع بينهما بحيث أن الأثر الحاصل بفعل احد الجزئين على الآخر يساوي ويتعارض مع الفعل الذي يحدثه هذا الأخير ، وبذات الوقت ، على الأول (لقد اشرت إلى العبارة « بذات الوقت » للتذكير بأنهم كانوا يفترضون مع نيوتن وجود انتشار آني لهذه المفاعيل) .

IV - عمل « امير » «Ampère»

في 18 ايلول 1820 ، واثنا اجتماع اكاديمية العلوم التي تلت الجلسة التي اعلنت فيها ، في فرنسا ، تجارب أرستد Ørsted ، أعلن اندري ماري امير André - Marie Ampère (1775 - 1836) ملاحظاته الأولى حول المفاعيل المغناطيسية للتيارات ؛ وبين للاكاديمية ان التيارات الكهربائية تتجاذب وتتدافع على التوالي وبحسب اية قوانين : اكتشاف ما سماه بالكهروديناميك ، وهو اكتشاف اساسي سوف يستبعد من العلم المواع المغناطيسية .

وانطلاقاً من هذا التاريخ لم يتوقف امير عن تقديم ملاحظاته حول الالكترولوديناميك إلى الاكاديمية ، وهي ملاحظات نشرت سنة 1827 في سلسلة من المذكرات ما تزال قراءتها حتى اليوم مفيدة جداً : ففيها يتجلى تطور فكره ، وكيف كان يتحقق من كل نتيجة من نتائج حساباته بواسطة التجربة

المباشرة . وإذا كان قانون التفاعل بين عناصر التيار ، هذا القانون الذي وضعه بعد 4 ك سنة 1820 ، واعتبره المفتاح الرئيسي لكل عمله ، فلما كان له شأن عندنا ، فإن عبقريته تتجلى فيه أين ما كان كما أن النتائج المهمة تكثر فيه .

التقنية التجريبية : إن أسلوبه في العمل وتوجه فكره يدلوان بوضوح منذ مذكرته الأولى التي صدرت في تشرين الأول سنة 1820 . وفيها وصف عدداً كبيراً من هذه الأجهزة البسيطة جداً الخفيفة والحساسة - مثل خيوط النحاس والمحاور وفناجين الزئبق - التي زينت « طاولة امير » واتاحت له عن طريق التجارب التوازنية « وطرق الصفر » ، دون أي قياس كمي حقيقي ، أن يصنع القوانين الأربعة في الكهروديناميك والتي سوف تكون القاعدة العملية لنظريته .

إن زخم التيارات التي تختار موصلات امير تحدد بواسطة « غالفانومتر » ، وهو خط بسيط ممدد أفقياً تبعاً للهاجري المغناطيسي ويعمل بوسيلة . إن بعضاً من هذه الأجهزة تتضمن ما سمي فيها بعد بالملفت للولبية Solenoides : « كتب يقول : لقد اوصيت على صنع مراوح من خيط الفصدير ، لتقليد كل مغايل المغناطيس وقد نحتت » .

نظرية التيارات الجسيمية : لقد ثبت فكر امير بوضوح منذ استنتاجات هذه المذكرة الأولى : « المفعل المتبادل بين تيار كهربائي . . . ومغناطيس وكذلك مفعل مغناطيسين يدخلان معاً في قانون المفعول المتبادل لتيارين كهربائيين . . . مع الاحتفاظ فوق السطح وفي داخل المغناطيس بعدد من التيارات الكهربائية ضمن سطوح متعامدة مع محور هذا المغناطيس بحيث يمكن تصور خطوط غير متقاطعة فيما بينها وتشكل منحنيات مغلقة ؛ بحيث أنه فلما بدا لي إمكان التشكيك بعدم وجود مثل هذه التيارات حول محور المغناطيسات » . وفيها بعد كتب يقول : « إن جزئيات الفولاذ تتميز بخاصية . . . انتاج نفس المفعول الكهربائي المحرك الموجود في بطارية فولتا . ولكن هذا المفعول لا يمكن أن يحدث أي توتر كهربائي » .

هذا التقريب من البطارية مفيد جداً . وامير - كما فولتا في نظريته عن الكهرباء بالتماس - لم تصدمه هذه الفرضية القائلة بنوع من الحركة الدائمة « الماكروسكوبية » التي تكون المغناطيسات مركزها . وقد فاتته فكرة الطاقة وحفظها وكذلك الفكرة الدقيقة عن المقاومة الكهربائية ، والتي كان يعرفها من قبل بريستلي Priestley وكافنديش Cavendish ودافى Davy .

ومع ذلك وبعد عدة أشهر ، تخلى عن هذه الفرضية : لا يوجد في المغناطيسات الناتجة عن التيارات الدائمة الماكروسكوبية حركة دائمة بل تيارات جسيمية تدور حول كل جزيء من جزيئاتها . وهذه الفرضية حسب قول امير ، اعطيت له من قبل م . « فرنل » M.Fresnel الذي وجد عدة مكاسب في أن يرى التيارات الكهربائية المتولدة من المغناطيس على هذا الشكل . وبعد تردد قصير اعتمد هذه الفرضية نهائياً وقدم عنها عرضاً وافياً (جواب إلى فان بيك Van Beek 1821) .

إن افكارنا حول المغناطيسية لم تتغير بعد ذلك . ولكن إذا كانت هذه الصورة للتيارات الجسيمية قد تبدو مقبولة ، حتى في عقول تعرف تماماً مبادئ الترموديناميك ، إذا كانت نظرية الألكترونات قد

أوضحتها ، فقد كان لا بد من مرور يتوجب قرابة قرن حتى يقوم عالم فيزيائي هو اهرنفتست Ehrenfest ليرى أن مثل هذه الحركات الجسيمية المنتظمة تتنافى مع الميكانيك الستاتيكي الكلاسيكي ، وانها أي هذه الحركات لا يمكن أن توجد وأن تستمر إلا لوجود كائنا (quanta) .

ولعدة أسباب واجهت نظرية الكهروديناميك المغناطيسية اعتراضات من قبل فيزيائيين معاصرين لدافى وليبوت Biot بصورة خاصة . وكان هذا الأخير وقد اطلق على مذكرة تتضمن بحوثه مع سافرت Savart عنوان : « حول المغنطة المعطاة للمعادن بواسطة الكهرباء المتحركة » كان أقرب إلى نيوتن من امير فقد كان يريد رد كل شيء إلى الموائع المغناطيسية وإلى قانون كولومب .

وفي رأيه أن المفاعيل الكهروديناميكية ليست إلا نتائج ثانوية لمغنطة حقيقية يعطيها التيار الكهربائي للموصلات المعدنية . وفي ما بعد كتب يقول : « إن السيد امير مضطر إلى اعتبار كل المفاعيل المتبادلة بين الأجسام المغنطة وكأنها وليدة تيارات فولتا تدور حول جزئيات ، كما تدور اعاصر ديكرات ، مما يؤدي إلى تعقيد في الترتيبات وإلى افتراضات معقدة جداً بحيث يصبح التعقيد مستعصياً ، في حين أن هذه الظواهر غير القابلة للحساب بحكم تركيبها ، عندما تجعل مرهونة بالمغنطة الجزئية المفروضة عن طريق التيار الكهربائي ، لا تقدم شيئاً بذاتها لا يمكن تصوره بسهولة خالصة » .

ولم يتكلف امير كبير عناء للاجابة بان فرضيات بيوت لا يمكن أن توضح وقائع وخاصة اعمالاً اعتراضية . ولكن وبعد اكتشاف حركات الدوران الدائم من قبل فراي في نيسان سنة 1822 كتب يقول : « ان الحركة التي تستمر دائماً في نفس الاتجاه رغم الاحتكاك . . . والمحددة بالفعل المتبادل بين جسمين يقيان دائماً في نفس الوضع ، هي حدث بدون مثال في كل ما نعرفه عن المادة غير العضوية . ويبر أن المفعول المبتني عن الموصلات الفولتية لا يمكن أن يعزى إلى توزيع خاص لبعض المسواتع الساكنة في هذه الموصلات . . . » .

تركيبة 1827 : في مذكرة له بعنوان « النظرية الرياضية للظواهر الكهروديناميكية المستخرجة فقط بالتجربة » (1827) أنهى امير سلسلة بشرات حول الكهرباء والمغناطيسية . هذا العمل الكبير وهو عرض اجمالي لكل المداخلات التي حصلت في حزيران 1822 حتى تشرين الثاني 1825 ، هو بناء منطقي مدعش ومرتكز على الفرضية القائلة بوجود تفاعل نيوتني بين عناصر التيار ، وهو تفاعل متعلق بالمسافة . وهذا ما يميزه عن القوى الكهروستاتية أو المغناطيسية - كما هو متعلق بالزوايا التي تحدثها العناصر السهمية للتيار ، فيما بينها ومع الشعاع السهمي الذي يفصلها . وللأسف - وامير وعى ذلك - أن لأثار الأولية لا تخضع للتجربة إذ ، إذا كان من السهل قياس القوة المحدثة من تيار مغلق فوق قطعة صغيرة متحركة من حلقة كهربائية ، وهو تقرب لعنصر من عناصر التيار ، فمن المستحيل ، بأن واحد ، عزل اثنين من هذه العناصر ثم فصل مفعولها عن المفاعيل التي تعزى إلى بقية اجزاء النظام . وبعض خلفاء امير استفاد من هذا الحدث لكي يضيف إلى صيغته حول الحدود ، هذه الحدود التي تعطي إذا دجت ضمن حلقة مغلقة ، مجموعاً عدماً : ان القوى الحاصلة لا تتعدل أو تتغير .

ومن التجارب الأربع الأساسية والبسيطة جداً - والتي تتناول كما يقول «امير» نفسه

حالات التوازن الأربع - استنتج مبادئ ظلت مهمة :

المبدأ الأول : أن مفاعيل التيار تتعاكس عندما يعكس اتجاه هذا التيار .

المبدأ الثاني : (حول التيارات المترجعة) ، ويقوم على توازي المفاعيل المحدثة فوق موصل متحرك بواسطة موصلين ثابتين واقعين على مسافة متساوية من الأول ، ويكون أحدهما مستقيماً والآخر مطوياً وملغوفاً بشكل ما .

المبدأ الثالث : « أن مفعول الحلقة المغلقة أو مفعول جملة من الحلقات المغلقة حول عنصر متناهي الصغر في تيار كهربائي يكون عامودياً على هذا العنصر » . وهو مبدأ يثبت الصفة الاعتراضية للجوهرية للعناصر الأولية وحدها ، والتي تعتبر قابلة للرقص والملاحظة .

المبدأ الرابع : إذا تساوى الزخم وثبت فإن تفاعلات عنصرين من عناصر التيار لا تتغير عندما تكون أبعادهما الخطية والمسافة بينهما متغيرة بذات النسبة .

إن التطبيق الأول الذي أجراه امبير حول صيغته تناول حساب مفعول الحلقة المغلقة C عندما يمر تيار كهربائي ، وأثره في عنصر من التيار (i'ds') .

وقد اضطر من أجل هذا إلى إجراء دمج للحلقة C ، مما قاده إلى إدخال مقدار ، اعتبره كمجرد مساعد رياضي ، وسماه الموجة D للأعمال الكهروديناميكية للحلقة C عند النقطة التي يحتلها ds' .

ولكن هذه الموجة D ليس شيئاً آخر ، في اللغة الحديثة ، غير الحقل المغناطيسي الذي تحدده الحلقة C المعتبرة عمراً لتيار يعادل الوحدة . والصيغ التي وضعها من أجل المكونات الثلاثة ، مكونات D ، تستعمل اليوم لحساب حقل التيارات الثابتة .

وأخيراً حصل - تعبيراً عن القوة التي تمارسها C على ds' - على الصيغة التالية :

$$dF = 1/2 (Di) i'ds' \sin \theta \quad (2 \text{ bis})$$

وهذه المعادلة تماثل عملياً المعادلة رقم (2) (الماز ذكرها سابقاً) ، باعتبار أن Di هي الحقل H . إن العامل 1/2 يأتي من أن امبير قاس الزخم بالوحدات الكهروديناميكية في حين أن المعادلة (2) كتبت بالوحدات الكهرومغناطيسية . أما الموجة D فيدخل تقريباً في كل حسابات هذا العمل . وهو يستعمل فيها يستعمل لتحديد سمات «الملفات اللولبية الكهروديناميكية» لتيانها - في كمالها - كخصائص أو سمات المغناطيسات ، كما استعمل أيضاً لوضع القاعدة العامة المسماة قاعدة «معادلة التيارات الكهربائية والورقات المغناطيسية» (أن كلمة وريقة ليست من امبير) .

الاكتشاف المفقود أو الغائب : نعرض فيما يلي حدثاً تاريخياً مهماً : في سنة 1821 أي منذ بداية بحوثه ، قام امبير بتجربة كان موضوعها « معرفة إمكانية إنتاج تيار كهربائي بأثر من تيار آخر » . وهذه المسألة كانت الموضوع الشاغل لدى الكثير من علماء الفيزياء في تلك الحقبة ، وقد حاولوا عبثاً حلها . في هذه الأثناء لاحظ « امبير » وزميله الجنيفي أوغست دي لاريف Auguste de La Rive فعلاً وجود تيارات مؤلفة عشوثة (في سنة 1822) .

كانت التنبئة أو التركيب بسيطاً : اطار دائري (حلقة مغلقة) من النحاس معلق بخيوط في الداخل ، وفي السطح بكرة دائرية مسطحة حيث يمكن تمرير تيار . والكل كان قائماً في حقل لمغناطيس من الحديد بشكل حدوة حصان . وفي اللحظة التي يتم فيها التركيب يقطع التيار في البكرة ، اما الحلقة المغلقة فكانت تمجذب أو تدفع تناوبياً بفعل المغناطيس .

وكتب « امير » بعد ذلك بأحدى عشر سنة إلى دي لاريف يقول : « للأسف لم تفكر لا أنت ولا أنا بتحليل هذه الظاهرة » .

هذا النوع من العمل الفكري لدى مثل هذه العبقرية الضخمة تفسر بأنه كان يتوقع انتاج تيارات « دائمة » بفعل التأثير (تيارات تشبه الشحنات الدائمة التي ترسلها الكهرباء الساكنة الستاتية) . وتعتبر الفكرة ذاتها المعروفة سابقاً هي السبب الأكيد تقريباً في فشل كل معاصري « امير » والسبب في الفشل الأول لفرايدي نفسه .

فرضيات : إن امير قد علّق ولا شك أهمية كبرى على النتائج الايجابية الحاصلة من عمله . وإذا كان قد دافع بحماس عن نظريته حول الالكتروديناميك المغناطيسي فلأن : « الأدلة التي اسندها إليها تنتج بشكل خاص من امكانية رد ثلاثة انواع من الأعمال ، يثبت بمجمل الأحداث أن سببها مشترك ، إلى مبدأ وحيد ، لا يمكن تخطيه أو الحياد عنه » .

هذه الحجّة هي حجّة ايجابية في جوهرها . ولكن امير لا يمتنع اطلاقاً عن التأمّلات الأكثر جرأة والأقل دقة ، كما نشر عنها اكثرية معاصريه . من ذلك انه كتب في 8 نيسان 1822 ما يلي :

« لا يمكن التهرب من القول بأن حركة نوعين من الكهرباء في الخطوط ، تنتشر فيها حولها ، في المائع المحايد الذي يتكوّن من اجتماعها والذي يملأ بالضرورة كل الفضاء المجاور » .

وفيما بعد كتب ما يلي : « في الحفّة التي كنت اهتم فيها بهذه الأفكار ، ارسل الي م . فرنسل يعلمني ببحوثه الجميلة حول الضوء . . . وقد ذهلت من توافق الأفكار التي يعتمدها ، مع الأفكار التي خطرت لي فيها تتعلق بسبب الانجذابات والردود الالكتروديناميكية » . وبعدها تأتي صور ديكارتية . ولكنه في الخلاصة أورد ما يلي : « لم أنف عن نفسي انه نظراً لاعتدام الوسائل من اجل حساب كل مفاعيل حركات الموائع ، فإن هذه الأفكار كانت غامضة جداً لتتخذ كقاعدة لقانون يمكن التثبت من صحته بتجارب مباشرة ودقيقة . وهذا اكتفيت بتقديم هذا القانون كواقع مرتكز على الملاحظة فقط » .

التطبيقات الأولى : نذكر ايضاً اكتشافاً عملياً مهماً وتقدماً تقنياً : في ايلول 1820 ، لاحظ اراغو مغنطة الحديد بالتيارات فاخترع المغناطيس الكهربائي . وبذات الشهر خطر لشويغر (Schweigger) أن يضع الأبرة المغنطة داخل إطار ، بكرة مسطحة يجتازها التيار ، وسمي هذا الجهاز « المضاعف » ، واصبح هذا المضاعف حساساً تجاه تأثير بطارية كما هو الحال في عصب الضفدعة .

V - قانون اوهم OHM

قدم امير التعريف الكهروديناميكي لزخم التيار ، وبين ، في معادلاته ، كيف يمكن رد قياس إلى

قياس قوته وبعض اطواله . ومن جهة اخرى بدأ كافنديش في استخراج مفهوم درجة الكهرباء في موصل متوازن ، وربط بواسون درجة الكهرباء بالدالة V التي قال بها لاغرانج ولاپلاس . واصبحت هذه الدرجة فيها بعد الشيء الذي سمي بالزخم الكامن $Potentiel$. وبصورة مستقلة عرّف فولتا - بشكل نوعي أو ما يقرب من ذلك - التوتر الكهربائي ، كما طور « امبير » ، في مذكرته الأولى لسنة (1820) هذه الرؤية ، عيماً بشكل واضح مفهوم الضغط $tension$ أو التوتر عن الزخم $intensité$. ولكن كان يقصص غالبية الفيزيائيين وخاصة امبير ، الفكرة الواضحة عن المقاومة $Résistance$ ، كما كان ينقصهم العلاقة الممكنة بين الضغط في بطارية والزخم في التيار الذي تنتجه هذه البطارية في موصل ، وطبيعة هذا الموصل .

وكان العلماء في بريطانيا اكثر تقدماً . ففي سنة 1767 كان بريستلي قد حاول اجراء بعض التجارب التي من شأنها التعريف بالفرق القائم بين القدرة على الايصال في مختلف انواع المعادن . وقد استتيدت هذه التجارب ووسعت من قبل كافنديش دون أن تنشر (راجع مجلد 2 القسم 3 ، الكتاب 2 ، الفصل 3) . وأخيراً بين دافى عن طريق غير مباشر تماماً ، في سنة 1821 ، أن القوة الموصلة في خيط معدني تتناسب مع نتيجة قسمة اتساع مقطعه على طوله ، بصرف النظر عن شكل هذا الخيط الموصل

وهذا كل ما كان يعرف في تلك الحفبة . وكانت المقاييس الكمية للمفاعيل البطاريات صعبة بسبب عدم استقرارها . ونذكر بهذا الشأن اد ريتز لاحظ في سنة 1803 استقطابية قطبي البطارية ($électrodes$) : فلو فرضنا وجود بطارية من معدن واحد ذات صحنون من الفضة مفصولة فيها بينها بصحنون من الفخاش الندي ، يقطعها تيار كهربائي لفترة من الزمن ، فعندها تصبح بعد فتح الحلقة بطارية « ثانوية » قادرة على اعطاء تيار معاكس للأول .

وأساء ريتز فهم هذه الظاهرة . ولكن فولتا فسرها في سنة 1805 بتراكم غازات الالكتروليز فوق سطوح الصحنون ، ثم تحاول هذه الغازات فيها بعد أن تعود ثانية إلى الامتزاج عبر السائل . وكان هذا العمل بداية البحوث التي أدت فيها بعد إلى بناء بطاريات « غير قابلة للاستقطاب » $impolarisable$ بيكريل 1829 $Becquerel$ ، دانيال 1837 ثم بونسن $Bunsen$ و 1841 ثم بطاريات من الغاز (غروف $Grove$ 1839) ، وحاشدات (بلانتيه $Planté$ 1860) . وقد أصبح الاختبار أكثر سهولة ودقة حين اكتشاف ت . ج . سيك للمفاعيل الحرارية - الكهربائية ، أي إنتاج تيارات في دائرة (حلقة) مكونة من معدنين تكون لمحاتهما تحت درجتي حرارة مختلفتين (1821 ، نشر سنة 1823) . هذا الاكتشاف الذي طوره بلتيه $Peltier$ في سنة 1834 كانت له أهمية نظرية وعملية بأن واحد - فقد بين هذا الاكتشاف - بحسب التعبير الحديث - أنه بالإمكان تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية ، بصورة مباشرة ، ومن جهة أخرى ، ولما كان بالإمكان المحافظة على درجات حرارة التلحيحات ($Soudures$) الحارة والباردة ، فقد اتاح (هذا الاكتشاف) بناء أو صنع بطاريات حرارية كهربائية كاملة الثبات . وأخيراً أعطى هذا الاكتشاف طريقة قوية وحساسة لقياس درجات الحرارة .

وبدأ جورج سيمون أوهم (1787 - 1854) تجاربه حول التيارات الكهربائية 1825 . واستعمل يومنث بطارية فولتا . وفي السنة التالية استبدلها بعناصر حرارية - كهربائية من النحاس والزنك ،

وهكذا توصل إلى وضع قانونه : $i = E/(R + r)$ وفيه i = زخم التيار ، مقاساً أو ملحوظاً بواسطة انحراف ابرة غالفانومتر. ومثل E = توتر البطارية الذي يتناسب مع عدد عناصرها التسلسلية. أما R فهي المقاومة وهي تتناسب مع هذا العدد. وأما r فتساوي مقاومة الحلقة الخارجية المتعلقة ، كما أثبت ذلك دافى ، بطبيعة هذه الحلقة واحجامها .

إن مفهوم المقاومة وخاصة المقاومة (Résistivité) وكذلك معاكساتها تتحدد بدقة . والقياس ، بالقيمة النسبية - قياس هذه الكميات يصح سهلاً . وكذلك قياس كميات التوترات التي نسميها القوى الكهرمحركة في البطاريات .

وفي سنة 1827 عثر أوهم على قانونه في (Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet) عن طريق الحساب وانطلاقاً من فرضيات هي مجرد نقل للفرضيات التي قام بها في سنة 1822 فورييه Fourier في كتابه « النظرية التحليلية للحرارة » إلى ميدان الكهرباء : إن زخم التيار ، أو الدفق الكهربائي هو مثل الدفق الحراري ، وهو ثابت في النظام الدائم . ومثابه درجة الحرارة أو مثيلها هو ما يسميه أوهم : القوة الالكتروسكوبية في نقطة معينة .

وقدم فرضية مفادها : « ان الجزيء المكهرب لا يمكن ان يعطي كهرباء إلا إلى الجزئيات المجاورة أما ضخامة الدفق بين جزئين متجاورين فيتناسب - مع بقاء الاشياء على حالها - مع الفرق بين القوى الالكتروسكوبية التي يمتلكها الجزئان ، - ووفقاً للشكل الذي هو سائد في نظرية الحرارة - باعتبار الدفق الحراري متناسباً مع الفرق في درجات حرارة هذه الجزئيات .

« أما التوتر (أو القوة المحركة) فتُعرّف وفقاً للمبدأ التالي : عندما يتلامس جسمان ، يحصل في نقطة التماس خرق دائم في قواهما الالكتروسكوبية » .

ولكن من ناحية نظرية الحلقات الكهرومائية ، كبل شيء يبدو واضحاً غامضاً . إنما ينقص فقط الرابط الصحيح بالكهرباء الجامدة أو الثابتة . واعطى أوهم تعريفاً كهربائياً ثابتاً (الكتروستاتيكي) للقوة الالكتروسكوبية ، أو - بصورة اولى - وصفها بشكل مختصر ووصف قياسها بواسطة الكتروسكوب .

ولكن هذا الأخير هو مجرد سطح للتجارب « ومن حجم صغير جداً ، بحيث أنه عندما يوصل مع القسم من الموصل (المكهرب بالتيار) المراد اكتشافه ، فبالامكان . . . اعتباره مستبدلاً بهذا القسم ، في حين أنه إذا حصل واختلفت القوى الكهرومائية (في هذا السطح التجاري) المقاسه بالطريقة التي وصفتها (بالقوة التي تضغط على نوع من ميزان كولومب) بالنسبة لمختلف النقاط الملموسة ، فإنها تظهر الفروقات الموجودة في الحالة الكهربائية في هذه النقطة »

والأمر يتعلق هنا بقياس زخم سطحي . ويبدو أن أوهم قدم ما هو مفهوم القوة الالكتروسكوبية بمفهوم الزخم الكهربائي .

إن قانون أوهم قد تثبت كميّاً ، من قبل فكنر (Fechner) سنة 1829 ، ثم سنة 1837 من قبل بويي Pouillet . وقد استخدم هذا بوصلته - بوصلة المماسات - التي تعطي قياساً دقيقاً للزحومات ، وذلك باجراء المطابقة الدقيقة بين الحقل المغناطيسي الأرضي وبين حقل الحلقة الكهربائية ذات الجيومترية المحددة تماماً

وكان لا بد من الانتظار حتى سنة 1845 حتى يماهي كيرشوف بين « القوة الكهروسكونية » (أو القوة الكهربائية الحجمية) التي قال بها ج.س. أوهم وبين الزخم الكامن الكهربائي الذي قال به بواسون وغيرين

VI - عمل فراداي Faraday

إن تاريخ ميشال فراداي (1791 - 1867) معروف : لقد كان حرفياً مساعداً ، في الاتصال ، تواقاً إلى التعلم ، ثم التحق كمتسمع لمحاضرات « المعهد الملكي » . وقبِلَهُ هـ. دافي Davy في عتبره سنة 1819 ، وصدرت أول نشرة له في الكيمياء سنة 1817 ، وفي الفيزياء سنة 1821 . وخلف دافي سنة 1827 ، وأصبح أحد أكبر علماء الفيزياء في كل الأزمنة ؛ ولم تتوقف سلسلة بحوثه الفخمة « البحوث التجريبية في الكهرباء » إلا سنة 1855 . ومن بين أعماله الأخرى يمكن ذكر : تقطير الكلور وغيره من الغازات (1823) ، اكتشاف البنزين (1824) صنع الزجاج الثقيل أو البوروسيليكات الرصاصي (1825 - 1829) .

الدورات الكهرومغناطيسية : لقد دلت أولى « البحوث التجريبية » (ايلول 1821) حول الحركات الجديدة الكهرومغناطيسية ، وحول نظرية المغناطيسية « إن مطلق قطب مغناطيسي يمكن أن يدور بشكل لا متناهٍ حول تيار كهربائي ، وأنه بالعكس يمكن لقسم من حلقة كهربائية ، متحرك ، بفضل اتصال منزلق ، أن يدور حول قطب .

وكان الجهاز بسيطاً للغاية : وعاء مملوء بالزئبق ، ومغناطيس نصف غاطس ، بحيث يخرج من السائل فقط قطب واحد أما القطب الآخر فيبقى مثبتاً في محور الجهاز . ويدخل التيار من اسفل الإناء ويخرج من خلال خيط غاطس في الزئبق ؛ والمغناطيس المائل هو الذي يدور مرة حول الخيط العامودي ، ومرة يدور الخيط المائل ، ملاصقاً السطح الزئبقي ، حول المغناطيس العامودي .

وبعد ذلك بقليل أرسل فراداي أحد أجهزته إلى امير - مما يعطي فكرة عن تعاون العلماء ، في كل البلدان ، في ذلك الزمن . واعاد امير هذه التجارب ، وصنع آلات جديدة ، ورصد ، ضمن شروط مماثلة ، لما لم يستطع فراداي الحصول عليه ، دوران المغناطيس على نفسه ودوران الموصل الفولتائي حول محوره (ك¹ 1821).

واعتبر مغناطيس فراداي وخطه العائمان ، أول المحركات الكهرومغناطيسية . وصنع بارلو Barlow ، في آذار 1822 جهازاً أشبه بموتوراتنا الحديثة : وهو دولابه المسنن الغاطس - من أسنانه - ضمن حمام من الزئبق ، والدائر في حقل مغناطيسي بشكل حدوة حصان ، عندما يمر تيار من مركزه نحو اطرافه (لقد صنع الفيزيائي الروسي ب.س. جاكوبي Jacobi ، في سنة 1834 موتوراً كهربائياً ذا مغناطيسات كهربائية . وفي سنة 1839 ، طور على النيفأ Nèva باخرة بمحرك كهربائي) .

أما الملاحظات التي استخلصها فراداي من هذه التجارب فكانت جريئة : فهي تعبر عن الهامة من هذه الظواهر كما تدل على اتجاهات فكره الطبيعية .

وعلى هذا كتب إلى دي لاريف La Rive في ايلول 1821 : « أجد أن الجذبات والردات ، المعتبرة عادةً بين الخيط الموصل والأبرة المغناطيسية هي مجرد أوهم » . وفيها بعد كتب يقول : « إن جذبات

وردت خيوط م. امير ليست نتائج بسيطة بل معقدة ومركبة. « ان القوى المتشابهة تتدافع ، أما القوى المتنافرة فتتجاذب . . . سواء وجدت في اقطاب المغناطيسات ، أم بدت على جانبي الخيوط الموصلة المتعارضة تماماً والمتقابلة » .

وكل هذا يبدو غامضاً نوعاً ما . لقد أخذت تظهر فكرة الانتشار التدريجي للمفعيل الكهرومغناطيسية . ولكن امير اشار بحق (ك' 1821) إلى أن كل الأحداث الملحوظة تفسر تماماً في نظريته حول الكهروديناميك . إن قانون بيوت وسافارت وعكسه يكفيان فيه .

الحث : في سنة 1824 ، قام فراادي بأولى تجاربه بحثاً عن التيارات المحثثة دون أي نجاح . وتجددت حالات الفشل ثلاث مرات ، سنة 1825 و 1828 ، وهو فشل يشبه حالات فشل العديد من معاصريه . ولكن هذه التيارات قد ظهرت فجأة سنة 1822 أمام امير ولاريف اللذين لم يكونا قد رأياها من قبل .

وبعد ذلك بستين ، أي في سنة 1824 ، لاحظ أراغو ملاحظة مهمة : ان تآرجحات الأبرة الممغنطة المعلقة بخيوط تتلقى ثغوباً غير طبيعي عندما نضع تحتها صحناً من المعدن . وخطر له ، وهو يبحث عن فهم هذه الظاهرة ، أن يرم الصحن : فأخذت الأبرة تبرم مع الصحن ، وبالعكس أدى برم الأبرة إلى دوران الصحن . ودرست هذه المفاعيل غير المرتقبة التي اعطاها أراغو اسم « المغناطيسية الدائرية » ، من كل جانب ، وحتى من الناحية الكمية . ولكنها ظلت طيلة سبع سنوات غامضة نوعاً ما . وقُبِلَ مع أراغو ودوهميل ، أنها تعود إلى تفاعلات بين المغناطيس والأقطاب التي يخلقها هذا المغناطيس (بسبب حركته ؟) في الصحن . واليوم يبدو لنا أنه كان من السهل نوعاً ما - وبالأستاد إلى افكار امير- تصور أن الحركة تخلق فيه تيارات كهربائية . ولكن هذا التفسير ربما بدا متعاضاً مع أفكار سابقة راسخة . وكان لا بد من انتظار فراادي كي يقدمها بعد اكتشافه للتيارات المحثثة (أب 1831) ، وهو اكتشاف منشور ضمن السلسلة الأولى « من بحوث تجريبية » المقدمة إلى « الجمعية الملكية » (في 24 تشرين الثاني 1831) .

وأولى التجارب المكلفة بالنجاح كانت رصد التيارات المحثثة في حلقة تتضمن غالفانومتراً عند فتح وغلق حلقة مجاورة . وكان لك خيوط موصلة معزولة حول ذات الحلقة المكونة من حديد ابيض (صورة 7) هو الذي عرّف فراادي ، حالاً ، بوجود ظاهرة مؤقتة مرتبطة بتغير الشروط المغناطيسية التي توجد فيها الحلقة المحثثة .

وتالت التجارب عندها بسرعة : الحث عن طريق اقفال وفتح الحلقة المغناطيسية ، التي حولها قد لُتِ البكرة (24 ايلول) ، بواسطة التيارات بدون حديد (أول تشرين أول) ، أو بواسطة تقريب مغناطيس (17 تشرين أول) . وفي 28 تشرين أول ، تصدى فراادي « للظاهرة المغناطيسية المسماة ظاهرة أراغو » . وتركيب هذا الجهاز كان عكس تركيب جهاز بارلو Barlow : دولاب من النحاس (غير مسنن) موضوع بين قطبي مغناطيس بشكل حدوة حصان ، وكان هناك خيطان موصولان باطراف غالفانومتر ، احدهما ينطلق من وسط الدولاب ، والآخر ينزلق فوق اطرافه . وعند وضع الجهاز في حالة دوران ، تأخذ أبرة الغالفانومتر بالانحراف .

وهكذا وُجدَ أوّل مولد للتيار المستمر ، الذي يحول ، بصورة مباشرة ، الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية . ومن المعروف أن نفس هذه الآلة يمكنها أن تعمل كموتور . وإذا فقد كانت قابلة للتعاكس .

في السنة التالية ، أي في سنة 1831 ، وضع بيكسي (Pixii) ثم ، بصورة مستقلة ، دال نغرو dal Negro ، مولدات ذات تيار متناوب : مؤلفة من مغناطيس بشكل حدوة حصان يدور في مواجهة بوبين مبروم فوق حديدية بشكل حدوة حصان . لقد كانت التيارات الحاصلة مشهودة . وفي سنة 1833 ، دُور ريتشي Ritchie البوبين بدلاً من المغناطيس ، وقوم كلارك Clarke ، في سنة 1836 التيار المتناوب بواسطة مبدّل (Commuteur) .

وفي سنة 1866 فقط استطاع الانكليزي وايلد Wilde أن يستعير عن المغناطيس بمغناطيس مكهرب بحثوث ومحفور بصورة اضافية بواسطة بطارية . واخيراً في سنة 1867 ، استخدم ورنر سيمنس Werner Siemens تحويلاً مأخوذاً عن الآلة بالذات ، لكي يحمّ المغناطيس المكهرب ، وحول ، بصورة نهائية المغناطيس إلى دينامو . اما حلقة باسينوتي Pacinotti فتعود في تاريخها إلى سنة 1860 ، وحلقة غرام Gramme تعود إلى سنة 1868 .

وقد اعترف فراداي ، في مذكرته الأولى هذه أن هذه الظواهرات تخضع لقانون عام : قانون « بسيط جداً ، وان صعب شرحه » . وهي تتعلق بأسلوب قطع الموصل للمنحنيات المغناطيسية . . . وقصد بهذا خطوط القوة . . . التي ترسم في داخل حثانة الحديد ، أو التي تلامس ابرة مغناطيسية صغيرة جداً » .

وفيما بعد نجد هذه الجملة ، التي هي ، بدون أدنى شك ، الأصل في معادلتين اساسيتين عند مكسويل : « تدل هذه النتائج على أن القدرة على حث التيارات الكهربائية ، تجري بشكل دائري ، بفعل حاصلة مغناطيسية ، أو محور قوة ، تماماً كما تحصل المفاعيل المغناطيسية الدائرية بفعل التيار الكهربائي » .

وفي السلسلة الثانية من « بحوث » (ك² 1832) تصبح التجارب أكثر ميلاً لأن تكون كمية ، وتصبح النظرية أوضح : « تُشكل حلقة من خطين مبرومين أحدهما على الآخر ، ملحومين معاً في احد طرفيها ، وموصلين عند الطرف الآخر بحدي غالفانومتر . ومهما كانت طبيعة هذين الخطين ، عندما يُجتازان معاً نفس خطوط القوة ، عندها لا يمر أي تيار : إن حركتهما في الحقل تخلق فيه توترات تتعادل ؛ فإذا ربطت ، كُل على حدة ، بالغالفانومتر ، وضمن نفس الشروط ، تصبح حالات الزخم المقاسة متعاكسة مع قوى المقاومة » .

وإذا فالظاهرة الأولى ليست خلق تيار ، بل خلق « قوة كهربائية محركة تحثية » مستقلة عن طبيعة وعن خصائص الحلقات . وهذه القوة لا تتعلق ، إلا بحركة نسبية تعود إلى الموصل ، بالنسبة إلى المغناطيس المرسل أو الحاث ، أو ، بصورة اعم ، بصورة اعم ، بالنسبة إلى خطوط القوة . وهنا يجب أن نرى اصلاً من الأصول البعيدة لمبدأ النسبية - التي يبدو أن فراداي كان قد شعر بها . ومن جهة اخرى وعند

اغلاق الحلقة البائة » يتوجب النظر إلى الخطوط المغناطيسية وهي تتحرك (إن جاز التعبير هكذا) عبر الخيط المكهرب . . . فهي أي الخطوط تتمدد نحو الخارج انطلاقاً من الخيط المكهرب وتكون علاقتها بالخيط المكهرب هي ذاتها كما لو كان هذا الخيط ينتقل باتجاه معاكس عبرها .

ويبدو إذاً أنه ، منذ بداية سنة 1832 ، عرف فرادي القانون الأساسي للحث ، هذا القانون الذي يحمل اسمه ، رغم أنه قد عانى من التعبير عنه بالكلمات . وبعد عشرين سنة وفي السلسلة الثامنة والعشرين من « البحوث » أصبح التعبير أكثر وضوحاً :

« عندما يتحرك خيط بصورة مستقيمة أو منحرفة عبر خطوط القوة . . . فإنه يجمع كمية القوى المتمثلة بالخطوط التي قطعها . وكمية الكهرباء المارة في التيار تتناسب مع عدد الخطوط المقطوعة » .

وفيا بعد كتب موضعاً أفكاره حول خطوط القوة : « إن الكمية النسبية للقوة . . . في فضاء معين يُرمز إليها بتكاثفها (أي الخطوط) أو انقصالها » ونقول اليوم : إن كثافة خطوط القوة تمثل زخم الحقل . وعدد الخطوط التي تمتاز سطحاً معيناً يساوي التدفق .

وكل هذه الأفكار كانت واضحة جداً في ذهن فرادي . فقد كان مقتنعاً بأن صورة خطوط القوة تمثل حقاً الفعل المغناطيسي . وحده مفهوم القوة الكهربائية - المحركة لم يكن محدداً تماماً في ذهنه ، والكلمة لم ترد في هذه المذكرات .

وفي سنة 1834 فقط ، وبعد سنتين مخصصتين لدراسة الألكتروليز (أي التحليل الكهربائي ضمن سائل) اكتشف فرادي وهو يستعيد تجاربه الكهرومغناطيسية ، اكتشاف التيارات الخارجة من جراه فتح واقتال الحلقات أي مفاعيل الحث الذاتي .

وقد كان سبق إلى هذه النقطة من قبل الأميركي جوزيف هنري Joseph Henry (1797 - 1878) هذا المهندس الفيزيائي النابغة كان مشغولاً منذ 1828 في تحسين المغناطيس الكهربائي الذي وضعه اراغو Arago لتطبيقه على التلغراف . وفي سنة 1832 لاحظ إنشاء وضع واغلاق الحلقة الكهربائية شرارات تزداد حدتها كلما كان طول الحلقة اكبر . « وتزداد زخامة المفصول قليلاً عندما يكون الخيط مبروماً بشكل مروحة . . . ولم استطع التثبت من هذه الظواهر إلا عندما افترضت أن الخيط الطويل المكهرب يقذف ، بفعل منه على نفسه ، شرارة عندما ينقطع الوصل » . إننا بعيدون عن خطوط القوة المغناطيسية وعن الرؤية البعيدة التي تكونت عند فرادي . وفي نشرة من سنة 1835 حيث قام جوزيف هنري بدراسة تجريبية كاملة جداً حول هذه الظواهر ، عرف أنها حالة خاصة من حالات الحث الكهرومغناطيسي . ونضيف أنه رصد في سنة 1838 التيارات المحثثة بفعل تفريغ بطارية أي بواسطة الكهرباء العادية

الألكتروليز : في السلسلة الثالثة من « البحوث » 1833 أنهى فرادي التبيين الذي كان دافي وفولتا وآخرون قد بدأوا به حول ماهية الكهربائيات « المشتركة » والفولتية (نسبة إلى فولتا) . فأوضح بهذا الشأن التعريف التجريبي لكمية الكهرباء التي تنساب داخل حلقة في زمن محدد ، وذلك عن طريقين متلاحقين ، طريق الغالفاونومتر وطريق الفولتامتير (وهي آلة ابتكرها فرادي واستخدمها في قياس

كمية المادة المفككة بفعل التيار)

وهكذا توصل إلى الاهتمام بمظاهر الالكتروليز التي خصص لها خمس سلسلات في « الحوثر » (1833-1834). ووضع بنفسه كلمة « الكتروليز » إضافة إلى مجموعة من الكلمات الجديدة مثل « الكاثود » ، و « الأنود » ، و « الأيون » الخ . . . وذلك لكي لا يتعد عن وصف موضوعي للمظاهرات ، ومن أجل تفادي كل صورة نظرية مسبقة . فقد بدت له إحدى هذه النظريات ، التي كانت سائدة يومئذ ، مشكوكاً بها : فقد كان مَنْ قَبْلَهُ يفترض أن تفكك المحلول لا يتم إلا بقرب القطبين اللذين يمر بهما التيار عبر المحلول : والقوى الضخمة للجذب والدفع التي يجدها القطبان حول ذاتيهما كانت تبدو وحدها قادرة على التغلب على التآلف الكيميائي .

وللتأكد من قيمة هذا الرأي ابتكر تجربة يتم فيها « الالكتروليز » بين الكترودات من الهواء ، بواسطة تدفقات تمر عبر غبار بين السائل والرؤوس المعدنية . ولما كان قد لاحظ أيضاً في هذه الحالة تفككاً كيميائياً فقد استنتج أن : « القوة الحاسمة لم تكن في القطبين ، بل في السائل المتحلل » .

وقد ظن دائماً أن المفاعيل تنتشر تبعاً لافتراض أن هذه القوة هي الحقل الكهربائي وبينَ نظرية الالكتروليز التي لم تعد مقبولة اليوم ، إلا أنها قد لعبت دوراً مهماً في تطوير افكاره :

إن الحقل الكهربائي يبدأ باستقطاب جزيئات السائل المحلل (الالكتروليت)، مما يعني تعزيز الرابط بين المكونين وهما : الأيون السلي والأيون الأيجابي . فإذا ضعف هذا الرابط ، أصبح انتقال الأيون من جزيء إلى جزيء مجاور له يتم بسهولة أكبر عن طريق جذب أيون معاكس منتم إلى هذا الجزيء الأخير فيصبح هو بداته نصف محرر . وهكذا وبالتقريب يحصل تفكك وإعادة تركيب للجزيئات .

وبالاجمال وعن طريق فكرة التكثيف الكهربائي المسبق ، استطاع فرادي أن يغير وان يكمل نظرية غروتوس Grotthus . وهكذا توصل إلى تفسير أفضل تفوق به على سابقيه للوقائع المرصودة ، وخاصة لظهور مركبات ، من جراء التفكك ، جديدة ، عند الالكترودات فقط .

ونحن لن نضع هنا صياغة للقوانين الكمية المعروفة جيداً والتي تحكم عملية « الالكتروليز » التي وضعها فرادي بواسطة تجارب ذات بساطة وذات مهارة متناهيتين .

نذكر فقط بعضاً من استنتاجاته : « إن ذرات المادة تبدو بشكل من الأشكال مزودة بقدرات كهربائية أو أنها تنضم إلى هذه القدرات التي تُعطي للذرات خصائصها الأكثر تميزاً . وبصورة خاصة تألفها المتبادل » . ثم يوضح فيقول : « إن الكميات المتساوية (أو المعادلات الكيميائية) من الأجسام هي مجرد كميات من هذه الأجسام تحتوي نفس الكمية من الكهرباء . . . أو ، إن نحن اعتمدنا النظرية أو علم الصيغ الذرية ، إن الذرات في الأجسام التي تتساوى فيما بينها لها أو فيها كميات متساوية من الكهرباء هي مندمجة في هذه الأجسام بشكل طبيعي » . وعلى الرغم من أن فرادي قد جاهر بالدفاع عن نفسه دائماً ضد فكرة الذرة فإننا نجد هنا أساس النظريات الذرية في الكهرباء وفي المادة . والنظرية الكهربائية الكيميائية التي طورها من قبل برزيلوس Berzelius كانت بأن واحد أكثر غموضاً وأقل مرونة . فقد كان ينقصها الأساس الكمي .

المازلات الكهربائية : أن الأفكار التي نادى بها فراداي حول دور الحقل الكهربائي في تفكيك السوائل الموصلة حلته على درس مفاعيل هذا الحقل على الأجسام العازلة السائلة أو الجامدة . وقد خصص لها ستين (1837 - 1838) وأربع سلاسل من كتابه البحوث .

وهنا نذكر قطعتين له مقتطعتين تدلان تماماً على وجهة نظره : « لما كان المفعول العام يظهر في التحليل المائي وكأنه مفعول جزئيات قد وضعت في حالة خاصة من التكثيف ، فقد توجهت إلى الشعور بأن الحث الكهربائي الساتيكى المعتاد كان كذلك ، بوجه عام مفعولاً بين جزئيات متجاورة دون أن يكون هناك أي مفعول كهربائي من بعيد إلا بتأثير من المادة الوسيطة » .

« ويمكن القول أن الأجسام العازلة هي اجسام تستطيع اجزاؤها أن تحتفظ بحالة التكثيف أما الأجسام الموصلة فهي الأجسام التي لا يمكن لجزيئاتها أن تستقطب بشكل دائم » . (وهذه الجسيمات أو الجزيئات تتبادل مكوناتها مع جاراتها) وكلمة حث تمثل عند فراداي العمل الذي يعطي شحنات فوق سطح الموصلات ويقاس بنقل نوعي سطحي : « إن الشحنة تقتضي دوماً الحث لأن كلاً منهما لا يمكن أن يتم دون الآخر » ولا دون وجود شكلين من القوة (أي نوعين من الكهرباء) بكميات متساوية . . . لا يوجد شحنة مطلقاً من المادة وبواسطة مائع واحد » .

هذا الاستنتاج الموجز يلخص في جملة واحدة نتائج عدة سلاسل من التجارب الملحوظة : وبواسطة قصصه الشهير اكتشف عملياً مبدأ الشاشات الكهربائية التي سبق أن بينها نظرياً غرين . وقد تحقق بدقة من مبدأ حفظ الكهرباء هذا المبدأ الذي قال به بايماز فرنكلين . وانخيراً وبعد تحسين سنة تقريباً بعد كافنديش ، ولكن من دون الاطلاع على اعماله ، قاس القدرات الحائلة الذاتية (أو الشوايت العازلة الكهرباء) ، في مختلف المازلات ، فادخل بشكل نهائي هذا المفعول المهم في الفيزياء . ودرس ضمن مختلف الظروف شكل خطوط القوة الكهربائية فلاحظ أن كل شيء يجري كما لو كانت هذه الخطوط تميل إلى القصر وهي تتمدد بصورة اعتراضية : « إن القوة الجاذبة الموجودة بين جزئيات في العازل الكهربائي ، في اتجاه الحث تقترب بقوة ارتدادية في الاتجاه الاعتراضي . ويسلوا الحث قائماً في حالة من تكثيف الجزيئات . . . هي حالة الاكراه لأنها لا تنشأ ولا تدوم إلا بفعل قوة » .

وظهرت في « بحوثه » افكار ثلاث خصبة : فكرة خطوط القوة الكهربائية - ونحن نقول انابيب الحث الكهربائي ، المنطلق من شحنات ايجابية للوصول إلى شحنات سلبية معادلة - ثم فكرة توترات القوة الكهربائية وضغوطاتها التي تفرضها وتلقاها بصورة تدريجية والتي يجب ان تفسر قوى كولومب (وهاتان العكسرتان طورهما رياضياً مكسويل) . أما الفكرة الثالثة فهي فكرة تكثيف المازلات الكهربائية . وهذه الفكرة أوضحتها سنة 1845 و . تومسون ، وفي سنة 1847 موسوتي Mossotti الذي اعتمد في حالة المثنويات الكهربائية افكار « بواسون » حول الأجسام المغناطيسية . فضلاً عن ذلك استند فراداي نفسه ومنذ 1838 ، إلى افكار بواسون : « يمكن مقارنة جزئيات العازل الكهربائي العازل الخاضع للحث بسلسلة من الأبر المغناطيسية الصغيرة ، أو بصورة اصح بسلسلة من الموصلات الصغيرة المعزولة . . . [وفي حقل كرة مشحونة] تصبح هذه الموصلات الصغيرة مكثفة . أما إذا كانت الكرة مفرغة من الشحنة فإن الجزيئات تعود كلها إلى حالتها الطبيعية » .

أما حالة الفراغ فلها وضع خاص : « إن نظريتي لا تطمح إلى الجزم بالنتائج المتعلقة بالفراغ . وهي في الوقت الحاضر ليست محدودة ولا موضحة بما فيه الكفاية عن طريق التجربة » .

وظل فراداي طيلة حياته يفكر في هذه المواضيع وخاصة بالجزئيات المتجاررة ، التي تنتقل تدريجياً المفاعيل التي تبدو وكأنها تحدث من بعد . في بادئ الأمر وسَّعها فشملت القوة المغناطيسية (1838) : « يبدو لي . . . أنه من المحتمل أن المفعول المغناطيسي يمكن أن ينتقل إلى بعيد بفعل الجزئيات الوسيطة ، وبطريقة تشبه الطريقة التي تنتقل بها القوة الحائلة في الكهرباء الساكنة عن بعد . هذه الجزئيات الوسيطة تكون ، ولفترة من الزمن في حالة خاصة أطلقت عليها عدة مرات ، (وإن بفكرة غير مكتملة أبداً) عبارة الحالة الالكتروتونيكية [الكهربائية المتوترة] .

وحول هذه النقطة أيضاً أوضح مكسويل أفكار فراداي . ونجد في مذكرات هذا الأخير اللاحقة أفكاراً أكثر عمومية تذكرنا بأفكار بوسكوفش Boskovic التي أعلنها منذ منتصف القرن الثامن عشر . فقد كتب مثلاً في سنة 1844 ما يلي : « الانطباع النهائي الذي يحملنا على التفكير العميق هو : أن الجزئيات ليست إلا مراكز قوى . والقوة أو القوى هي العناصر المكونة للمادة : ولا يوجد إداً بين الجزئيات فضاء متميز عن المادة . إن الجزئيات تتلامس . . . وهي قابلة للانخراق مادياً ، وربما حتى مركزها بالذات » .

التكثيف الدائري المغناطيسي : إن عمل فراداي ، الذي أوقفه المرض في سنة 1841 ، قد استؤنف سنة 1845 . وقد سبق لجون هرشل Herschel أن استنتج أسباب تناظر تقضي « بأن سطح التكثيف في الضوء يمكن أن تحُرِّقه المغناطيسية الكهربائية » . وربما استلهم فراداي هذه الفكرة من هرشل ، فكانت له اهتمامات مماثلة كما قام بتجارب انطلاقاً من سنة 1822 ، وخاصة في سنة 1834 ، حول التحليل المائي (الكتروليت) في حقل مغناطيسي .

في أيلول سنة 1845 ، اكتشف فراداي ، وهو يعمل على زجاج ثقيل من الرصاص ، ما سماه منطقة الضوء ، وتنوير خطوط القوة المغناطيسية . أي التكثيف الدائري المغناطيسي .

« كتعب يقول : من الثابت إذاً أن القوى المغناطيسية والضوء لها علاقات متبادلة فيما بينهما . ولكن القوى المغناطيسية لا تؤثر في الشعاع الضوئي مباشرة وبدون تدخل المادة » . ومن المعلوم الأهمية التاريخية لهذا الاكتشاف ، فقد كان أحد مصادر النظرية الكهرومغناطيسية في الضوء .

الخصائص المغناطيسية للمادة : في أواخر سنة 1845 قام فراداي ليدرس بصورة أدق فعل الحقل المغناطيسي على الزجاج الثقيل ، فعلق موشوراً منه ، وبصورة حرة ، بين قطبي مغناطيس كهربائي : فلاحظ أن الموشور ينتج ، لا وفقاً لخطوط القوة كما هو الحال بموشور ممائل من الحديد ، بل بصورة عامودية على هذه الخطوط ، وكذلك لاحظ دَفْعَ كراتٍ من نفس المادة خارج الحقل . وكان هذا اكتشاف ما سمي بعكس الجاذبية أو (ديا مانتسم) وهي ظاهرة لوحظت عدة مرات ، منذ القرن الثامن عشر وخاصة من قبل آ . س . بيكيريل A.C.Becquerel ، ولكنها قلما درست وفهمت حق الفهم . ووسع فراداي عندها بحوثه واكتشف أن كل الأجسام فيها خصائص مغناطيسية . وضمنها

ضمن ثلاث فئات : الديناميكتيك (عكسية الانجذاب) ، وهي الأكثر وتشبه الزجاج الثقيل ، البارامانيكتيك (متوازنة المغنطيسية) وتوجه على موازاة خطوط القوة ، ولكنها أقل قابلية للاستقطاب من الحديد ثم الأجسام الحديدية المغناطيسية ، وهي وحدها التي كانت معروفة ومدروسة قبله .

وكل هذه الظواهر كانت تفسر في نظره بالتيارات المحثثة في الجزيئات . وكانت نظريته حول « البارامانيكتيك » وحول الأجسام الحديدية المغناطيسية قابلة جداً للنقاش وكانت أكثر بعداً عن افكارنا الحديثة من نظرية امبير . ولكن الفكرة القائلة بأنه في : « البيسموث وفي الزجاج الثقيل ، وفي الأجسام عكسية الانجذاب (ديامانيكتيك) تكون التيارات محثثة . . . في اتجاه التيارات المحثثة داخل موصل ، عند « وصل » تيار حاث « (للحقل) ، هذه الفكرة اتخذت اساساً لنظرية ادق قال بها فيسر Weber ، واستعيدت بعد ذلك كثيراً ، وطورت من وجهة نظر الكترونية من قبل ب . لانجفين P . Langevin .

وأثناء هذا العمل ، اكتشف فراداي اكتشافاً مهماً آخر هو اكتشاف الفاعيل المغناطيسية البلورية ، أي ما يسمى بتباين الخواص anisotropie المغناطيسية لبعض السوروات ، هذه الخاصة التي تنبأ بها بواسون والتي قام لورد كلفن Kelvin بدراستها فيما بعد دراسة تجريبية ورياضية معمقة . وخصصت السلاسل الأخيرة من « البحوث التجريبية » بشكل خاص من اجل توضيح خصائص « خطوط القوة المغناطيسية » . وقد اتاحت له مجموعة من التجارب المتناهية الابداع والمتنوعة أن يبين : « ان كل خط من خطوط القوة يجب أن يعتبر كحلقة مغلقة ، يمر جزء من مجراها عبر المغناطيس ولها نفس الكمية من القوة (نفس الدفق) في كل نقطة من مجراها » .

وعرف أيضاً أن هذه الخطوط تلنف حول خطوط التيار الكهربائي ، فتشكل حلقات متداخلة فيما بينها كالدوائر . وطبق أخيراً على هذه الخطوط نظرية التوترات والضغطات ، وهي النظرية التي تخيلها بالنسبة إلى خطوط القوة الكهربائية : « وسين امبير ودادي . . . أن التيار الكهربائي ينزع إلى التحدد . . . وتقتصر الخطوط المغناطيسية . . . المشتركة بين المغناطيس وبين الأبرة . وتنجاذب التيارات الكهربائية المتوازية . ولكن محاور القوة المغناطيسية ، أو خطوط القوة تتدافع . . . هذه الاختلافات توافق عندما ينظر إلى الموقع المتبادل بين حلقتي تشكلاان زاوية قائمة فيما بينهما » .

ونذكر امتيراً واحدة من « افكاره » (من سنة 1846) حول الذبذبات الاشعاعية : « إن الاشعاع هو نوع من الذبذبة السريعة في خطوط القوة التي تجمع فيما بين الجزيئات وبالتالي فيما بين كل المادة . [وهذه الفرضية] من شأنها رفض الأثير ولكنها لا تتخلل عن الذبذبات » .

ويعود تاريخ التجربة الأخيرة التي قام بها فراداي إلى سنة 1862 - أي خمس سنوات قبل موته . وقد حاول رؤية مفعول الحقل المغناطيسي على الخصائص (اللون والكثافة) الضوئية في الضوء الصادر عن مصدر . وكانت اجهزته غير قوية بحيث تمكنه من رصد هذه الظواهر التي اكتشفت بعد خمس وثلاثين سنة من التقدم التقني ، من قبل زيمان Zeeman .

VII - خلفاء امير

في حوالي الأربعينات ، كان المصير الذي تسالت فيه الاكتشافات التجريبية الكبرى في مجال الكهرباء بوترية سريعة ، قد انتهى ، على الأقل لبعض الوقت . وفتحت سبيلان امام المنظرين : اولاهما انطلقت من اعمال امير : وكان المطلب العثور ، فيها بين عناصر التيار ، وفيها بعد في الشحنات الكهربائية المتحركة على قانون قوة أو قانون زخم كامن ينبي عن كل الظواهر بما فيها ظاهرات الحث - وهذا ما لم تتوصل إليه صيغة امير . في هذه النظريات حول المغفول من بعيد ، كانت فرضيات الأساس قليلة العدد ، واضحة الصياغة ، وكانت الحسابات تتم وفقاً للطرق الكلاسيكية السائدة في الميكانيك . انما يمكن القول بحق أن هذه الطرق وصلت إلى الطريق المسدود ، لو أنها ، انشاء الطريق ، لم تتوصل إلى قوانين وإلى معادلات مهمة ، وإلى صورة عن الظواهر الكهربائية كانت شكلاً اولياً لنظرية الالكترونات .

أما الطريق الثانية فهي الطريق الذي فتحها فرادي : وكانت الفكرة الأساسية تدور حول الانتشار التتالي للمفاعيل الكهرومغناطيسية : وكانت هناك ثلاث صور قابلة للاستخدام : صورة خطوط القوة ، وصورة الوسط الوسيط اي الأثير ، واخيراً صورة الجزيئات المتلاصقة المختلفة الكثافة . وكانت هذه الصور الثلاث مفيدة كلها . ولكن نظراً لتعددية الفرضيات - وكانت هذه النظريات مجموعاً من المحاولات التلاحقية في اتجاه محدد ، أكثر مما كانت بناءً متكاملًا متمسكاً - بدت افكار فرادي في البداية غامضة مشوشة امام الكثير من المفكرين ، وحتى فيما بعد عندما قام مكسويل بتوضيحها بلغة الرياضيات ، بقيت غير مفهومة لمدة طويلة .

المعادل الميكانيكي للحرارة وقانون جول نبدأ بدراسة موجزة للمعادلات التي اقترحها خلفاء امير ، انما يتوجب أولاً التذكير باكتشاف اساسي سوف يغير ويجدد بعمق افكارنا حول الظواهر الطبيعية . في سنة 1842 وضع روبرت ماير Robert Mayer المعادلة بين الحرارة والعمل (راجع حول هذا الموضوع دراسة ج . آلار ، الفصل 4 من هذا القسم) . ويميز عنه حدد جول Joule هذه المعادلة بواسطة تجربة مباشرة اجراها سنة 1845 . واخيراً نشر هلمولتز Helmholtz في سنة 1847 دراسته حول حفظ « القوة » (Uber Die Erhaltung der Kraft) حيث كان مبدأ الطاقة قد صيغ بشكل عام تماماً . وكانت هذه الافكار سارية في الهواء تقريباً . ومن بين « الكهربائيين » كتب فرادي ، متقدماً ، في سنة 1840 نظرية التماس التي وضعها فولتا ، فقال ان هذه النظرية تقتضي « خلق قدرة لا تيسر لاية قوة في الطبيعة » . واخيراً نشر جول في سنة 1841 بحوثه حول الحرارة الصاعدة من جراء مرور التيار الكهربائي في شريط مقاوم : وقد قررت هذه التجارب قانون جول الذي تم قانون اوهم ، ثم اوضح التعريف الطاقوي في القوة الكهربائية المحركة . وكان العمل حول المعادل الميكانيكي للحرارة هو التهمة الطبيعية .

قانون جراسمان Grassmann : في سنة 1845 لاحظ جراسمان أنه لم يكن من الضروري ولا من المنطقي تفسير المفاعيل « الاعتراضية » في اساسها - كما يثبت ذلك من المبدأ الثالث الذي وضعه امير - بواسطة قانون اولي يتمشى مع مبادئ نيوتن . ولهذا اقترح صيغة مؤداهما حساب ، عن طريق قانون بيوت وسافارت ، حقل عنصر التيار (ids) في النقطة حيث يوجد العنصر $(i'ds')$ ، ثم بموجب

القانون المعاكس ، بحسب مفعول هذا الحقل وأثره على العنصر الثاني . والحقيقة أن قانوناً من هذا النوع ، لا يماشي مبدأ ردة الفعل ، لا يمكن أن يفهم ميكانيكياً إلا إذا قصد ضمناً انتشاراً تدريجياً .

فرائز نيومان Franz Neumann . الدراسة الرياضية للمحث ومفهوم الزخم المتبادل : وكان هناك دراستان أكثر أهمية بكثير (1845 - 1848) وضعهما فرائز نيومان : وفيهما نجد النظرية الرياضية الأولى حول الحث . لقد ارتكز بيومان على قاعدة نوعية مهمة جداً اكتشفها E. Lenz في سنة 1834 ، وهذا هو نصها (في حالة خاصة) : عندما تتحرك حلقة داخل حقل مغناطيسي ، يثبت فيها تيار يكون اتجاهه بحيث أن القوة التي يتلقاها تتعارض مع الحركة . وهذه القاعدة أوحى بالفكرة القائلة بأن التيارات الميثوة تنشأ وتولد ، على الأقل في حالة الحركة ، بفضل العمل الجاري ضد القوى الكهربائية المغناطيسية . وانطلاقاً من فكرة العمل هذه ، العمل المحتمل ، ثم بالارتكاز على النتائج التجريبية التي توصل إليها فراداي ، اعتبر ف. نيومان القوة الكهربائية المحركة الحادثة dE متولدة من الحركة داخل عنصر (ds) داخل موصل تحركه سرعة v .

فقد افترض أن (dE) تتحصل من المعادلة : (4) $dE = -v \cdot dF$ حيث dF هي الإسقاط على اتجاه السرعة للقوة (dF) التي يبعثها الحقل في العنصر (ds) ، بحسب قانون التماسك المسمى قانون بيوت وسافارت ، هذا إذا كان الحقل عمراً لتيار زحمة يعادل الوحدة . وهذه الفرضية الأخيرة قد تبدو كإيفاء . إن المعادلة (4) تفرض نفسها على الأقل بحسب النظرية الحديثة حول الإلكترونات ، وفيها يتكون كل موصل اسماً من جزئيات متحركة نوعاً ما تحمل شحنات إيجابية وسلبية : وفي هذه الحالة تمثل (v) زخم التيار المحدث بفعل وحدة الشحنة الإيجابية المجرورة من قبل الموصل .

وبدل الحساب البسيط ان الطرف الثاني من (4) يعادل الدفع المغناطيسي المقطوع ، بخلاف الوحدة الزمنية ، من قبل العنصر (ds) . وهذه المعادلة تساوي إذا قانون فراداي . وفي تنمة عمله وقف ف. نيومان موقفاً اعم . فأنطلق من المعادلات التي وضعها امبير للحلقة المغلقة ثم حسب الزخم المتبادل $V_{ii'}$ ، في الحلقتين أي العمل الميكانيكي الذي نجب ممارسته ضد القوى الكهربائية الديناميكية ، لردّها ، دون تغيير في الشكل أو الزخم من اللاتباتي إلى موقعها الحالي . وحصل على المعادلة التالية :

$$V_{ii'} = - \frac{1}{2} \iint \frac{ds \cdot ds'}{r} \quad (5)$$
 التي بقيت كلاسيكية (وفيها : تمثل ds الجسء اللا اتجاهي للسهمين $(ds$ و $ds')$ ، باعتبار أن r هي المسافة بينهما) .

وتعطي هذه المعادلة فكرة عن كل وقائع التجربة ، عندما تكون التيارات ثابتة ، أو متغيرة ببطء وعندما تكون السرعات ضعيفة بمقدار تعتبر فيه سرعة انتشار المفاعيل الكهرومغناطيسية للضوء شبه لا متناهية .

وبصورة خاصة إذا نظرنا إلى عنصر (ds') ثابت وإن اكملنا بالنسبة إلى (ds) ، داخل الحلقة الأولى ، نحصل على الزخم الموجه لهذه الحلقة عند النقطة التي تحتلها (ds') . وقد استعمل مكسويل فيها بعد هذه الكمية إنفاً من وجهة نظر أخرى .

عمل ولهم فيبر Wilhelm Weber : إن الأعمال المعاصرة التي قام بها ولهم فيبر : (1804 - 1891)

هي أيضاً مهمة ولكن اتجاهها مختلف تماماً . بالدرجة الأولى يعتبر فيبر تجريبياً من الدرجة الأولى . وتنضم مجموعة الكبرى من المذكرات (... Electrodymanische 1840 - 1878) أوصافاً للتجارب وللأجهزة كما تتضمن بذات الوقت حسابات نظرية .

وكان غوس هو الذي وجه فيبر نحو الكهرومغناطيسية . وفي سنة 1834 صنع العالمان أول تليفراف كهربائي عمل فعلاً بين مختبر الفرياء وجامعة غوتنجن (ان تليفراف كوك Cooke وويتستون Wheatstone يعود إلى سنة 1837 ، وتليفراف مورس Morse يعود إلى سنة 1840 . ونذكر أيضاً الأبحاث التي قام بها « هنري » . أما كابل « كالي - دوفر » فقد وضع سنة 1851) .

في سنة 1832 قام غوس بقياس « القيمة المطلقة » أي القياس مربوط بالوحدات الجيومترية والميكانيكية ، للمحقل المغناطيسي الأرضي ، وللعزم المغناطيسي في المغناطيس : وهكذا عرف بدقة وحدة العزم المغناطيسي . وكذلك عرف كولومب وحدة الشحنة الكهربائية . ومن هذا التعريف الأخير اشتق نظام الوحدات الكهروستاتية . وبفضل وحدة العزم المغناطيسي أصبح من الكافي قياس المفعول على مغناطيس ضمن حلقة كهربائية ذات شكل معين ثم تطبيق قانون بيوت وسافارت لربط المقادير الميكانيكية ، بزخم التيار الكهربائي . وهكذا يتم الحصول على النظام الكهرومغناطيسي الذي وضعه غوس Gauss . وحقق فيبر التجارب : بواسطة بوصلة الماسات ، قاس « بالقيمة المطلقة » زخم تيار كهربائي (1840) . وفي ما بعد حسن من أساليبه فصنع الكترودينامومتر من اجل تحديد اثر الحلقة على حلقة أخرى تحديداً كمياً ، وهذا امر لم يقم به امبير اطلاقاً . وفي سنة 1855 وبمعاونة ر. كوهلروش Kohlrausch . قاس فيبر ، مباشرة ، نسبة الوحدة الكهرومغناطيسية إلى الوحدة الكهروستاتية في الشحنة الكهربائية ، وهي نسبة تدخل صراحة في المعادلة حول الآثار الكهربائية (6) والقيمة التي توصل إليها فيبر $(10^{10} \cdot 11 \cdot 3)$ تساوي ، رغم اخطاء التجربة التقريبية ، سرعة الضوء . وهو اكتشاف رئيسي سوف يصبح الأساس التجريبي للنظرية الكهرومغناطيسية للضوء .

وفي سنة 1846 نشر فيبر مذكرة (... Uber ein allgemeines Grundgesetz) كان هدفها تجميع التفاعل بين الجزئيات الكهربائية المتحركة وكل ما يعرف عن الكهرباء في قانون وحيد ، أي اجراء توليف تركيبى بين الكهروستاتية والكهرودينامية . وفيها عرف التيار الكهربائي صراحة كحركة - ذات اتجاه معاكس - في الشحنات الكهربائية من ذات الاشارتين . ويكتب قانون فيبر كما يلي :

$$f = \frac{ee'}{r^2} \left\{ 1 - \frac{1}{2c^2} \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{1}{c^2} r \frac{d^2r}{dt^2} \right\} \quad (6)$$

باعتبار (f) هي قوة التفاعل في الشحنتين (e و e') (وهي تتمشى مع مبدأ نيوتن) أما (r) فهي المسافة بينهما و (c) هي العلاقة بين الوحدات .

إن الحد الأول هو قوة كولومب . أما الحدان الأخيران فيمثلان القوى الكهرودينامية ومفاعيل

الحث ، شرط افتراض ان الدفقين المتعاكسين من الكهرباء الايجابية والسلبية يتمان بالنسبة إلى كل تيار وفقاً لسرعات مطلقة متساوية . ولكن سرعان ما عرفت ان هذه السرعات هي قابلة للقياس ضمن المحاليل المائية (الكتروليت) وانها غير متساوية .

وهناك اعتراضات جذية تدخل في نطاق الطاقة ، قامت بوجه نظرية فيبر خاصة من قبل هلمولتز Helmholtz وكلويزيوس Clausius . ولكنها أي نظرية فيبر ادت خدمات لمدة طويلة : فقد استعملها كيرشهوف لحساب « حركة الكهرباء في الخطوط » وفقاً لنظام متغير ، ثم داخل الموصلات ذات الأبعاد الثلاثة (1857) .

لم يتوقف فيبر عن تعميق فكرته العميقة فيزيائياً حول الحثيات الكهربائية المتحركة . في سنة 1871 ، نشر نظريته حول المغناطيسية والتعارض المغناطيسي القريبة جداً من افكارنا الحديثة .

كتب مثلاً يقول : « نفترض أن (e) هي الجزئية الكهربائية الايجابية . ونفترض فضلاً عن ذلك أن ذرة قابلة للوزن تجذب من قبل هذه الجزئية بشكل يكثف حجمها بحيث يصبح حجم الجزئية الايجابية غير منظور بالمقارنة . وعندها يمكن تصور الجزئية (- e) كما لو كانت في حالة سكون ، والجزئية (+ e) متحركة حول الأولى . وتشكل هاتان الجزئيتان التيار الجزئي الأميري . وهذا هو التصور الحديث تقريباً . بالنسبة إلى فيبر وهو يطور افكار امير وفراي ، تعزى المغناطيسية المتوازية إلى التوجيه الحاصل بفعل حقل التيارات الجزئية الموجودة سابقاً ، أما المغناطيسية الاعتراضية فتعزى إلى التيارات المحشوة في الحلقات الحزئية . هذه الصور النصف نوعية ايضاً سوف تتوضح من قبل لانجيفين Langevin في نظرية الألكترونات

فكرة الزخم المتأخر : إن بحوث بعض علماء الفيزياء الرياضيين قلما كان لها جدوى إلا من الناحية التاريخية . في سنة 1858 افترض ب. ريمان أن الزخم الكهربائي يخضع لا لمعادلة بواسون بل لمعادلة انتشار بسرعة متناهية ، ترتد إلى معادلة بواسون في الحالة السنتانية ، فيبدو حلها بشكل زخم متأخر

وقد عاد إلى هذا المفهوم المهم جداً امّا بشكل آخر مختلف كل من كارل نيومان Carl Neumann (ابن فرانز) في سنة 1869 ول. لورنز الذي وسع الفكرة حتى اشملها الزخم الموجه أو السهمي (1867) . ولكن في هذه الأثناء ظهرت اهم مذكرات مكسويل . ولم يكن لورنز على ما يبدو يظن أن معادلات الانتشار التي تتلاءم معها آراؤه حول الزخم المتأخر ، تعادل رياضياً المعادلات التي اقترحها مكسويل .

مقاومة افكار مكسويل : كانت افكار مكسويل تفهم فهماً سيئاً في البداية وقد انتقدت بعنف من قبل علماء القارة الأوروبية . وطيلة أكثر من عشرين سنة ظل فيزيائيون مشهورون يحاولون وضع نظريات كهربيةميكانيكية ذات مفعول آني ومن بعيد .

من ذلك أنه في سنة 1877 ، حوّل ر. كلويزيوس نظرية فيبر إلى نظرية وحدوية لا يمكن فيها النظر

إلا إلى نوع وحيد من الشحنات المتحركة .

واقصر التعبير ، الذي عثر عليه بشأن الرخم الحاصل من تفاعل شحنتين ، على الزخمين اللذين قال بهما كولومب ونيوتن في حالة التيارات الدائمة . ولكن هذا التعبير يُدْعَل ، ليس السرعة النسبية كما تقتضي صيغة فير ، بل السرعات المطلقة داخل وسط افتراضي ، هو الأثير . وبهذا يخرج هذا التعبير من الإطار الضيق للنظريات القائلة بالمفعول من بعد .

اعمال هلمولتز Helmholtz في الكهروديناميك : أما الأعمال التي نشرها هـ. هلمولتز (1821 - 1894) حول الكهروديناميك من سنة 1870 إلى سنة 1874 ، فإن جدواها لا تنأى فقط من اناقتها ومن عموميتها ، إنما أيضاً من كون هلمولتز كان معلّم هـ. هرتز . والمسائل التي طرحها على هرتز لبّيت انتباه هذا الأخير حول مسألة التيارات المفتوحة ، وحول العلاقة بين الكهروديناميك والتكثيف الكهربائي غير الموصل (دي الكتريك) وحول الأرجحات الكهربائية . وفي سنة 1902 فضل بيسار دوهيم أيضاً نظرية هلمولتز على نظرية مكسويل - هرتز .

وعن طريق أبحاثه حول الأثر الفيزيولوجي لشحنات « المكثف » توصل هلمولتز إلى التفكير في الديناميكية الكهربائية للتيارات الموجبة . وقد لفته واقعة أن كل الصيغ المقترحة منذ امير وخاصة منذ ف. نيومان F. Newmann ، تعطي أيضاً دلالة على الوقائع الملحوظة على التيارات المغلقة ، فبحث عن معادلة تتعلق بالزخم المتبادل بين شحنتين متحركتين ، وهذه المعادلة كانت أكثر عمومية من المعادلة (5) التي وضعها نيومان والتي ظلت تتوافق مع مبدأ الطاقة . وحصل على معادلة بسيطة نوعاً ما ، تتضمن ثابتة غير محددة (K) مما يعطيها نوعاً من المرونة . وإذا اعتمدنا القيمة $(K = 1)$ ، نجد زخم نيومان . وإذا كان $(K = -1)$ نفع على نظرية فير ، وإذا كان $(K = 0)$ نفع على نظرية مكسويل . ولكن هلمولتز اضطر إلى الافتراض بأن الفراغ يتضمن شحنات كهربائية وأنه قابل للتكثيف . وهذه القابلية في الفراغ لا تمت بأية صلة إلى القابلية التي افترضتها فيما بعد النظرية الكانتية (الكمية) . بل إنها تتوافق مع صورة لأثير مكون من خلايا كاملة الايصال مفصولة بحواجز رقيقة عازلة : وتكون التيارات الحاصلة في هذه الخلايا ، عندما يتبدل الحقل الكهربائي ويغير حالة تكثيفها ، هي - في هذه النظرية - ما يحل محل « التيارات البديلة » التي قال بها مكسويل .

في سنة 1847 ، وفي كتابه «Uber die Erhaltung der Kraft» قدم هلمولتز عن القوة المحركة الحائنة نظرية بسيطة ولكنها قليلة الدقة ، ومرتكزة على مبدأ الطاقة . وفيها عرّف أيضاً لأول مرة طاقة نظام كهربائي ستاتيكي . وفيما بعد ، أي في سنة 1858 عثر على : « الاكتشاف الرابع لقوانين ديناميكية الحركة الزويعية » (لورد كلفن) . وسوف نعود إلى مساهمته في اكتشاف الالكترونات وإلى بحوثه المتعلقة بالبطاريات وبالطبقات الكهربائية المزودة .

VIII - كيرشوف Kirchhoff ووليم تومسون W. Thomson

تجب على حدة معالجة ، ما قام به ، في مجال الكهرباء هذان العالمان اللذان عاصرا من سبق ذكره ، وذلك لسببين : أولاً لأن هلمولتز ومكسويل ربما كانا ، في مجال الفيزياء اعظم عالين في النصف

الثاني من القرن التاسع عشر ، وتالياً لأن عملهما يتميز بميزة خاصة : فرغم انهما كانا مبالغين إلى البحوث النظرية إلا انهما كان يتمان أيضاً بالمسائل الخاصة المتعلقة غالباً بالناحية العملية ، وكنا يعالجانها بأن واحد يفكر منفرداً والآخر يجمعاً .

كيرشهوف والكهرباء المتحركة (الكتروستاتيكية): في سنة 1845 استطاع غوستاف كيرشهوف (1824 - 1887) وكان ما يزال تلميذاً ، أن يوسع نظرية أوم - التي لم تعالج إلا الحالة الخطية - حول الموصلات ذات البعدين ، أي الصفائح (بلاك) وأن يبين قوانينه الكلاسيكية حول التيارات المشتقة . وفي سنة 1848 ، ارتكز مثل أوم على أعمال فورييه Fourier ، فوضع النظرية العامة لانتقال الكهرباء في الموصلات ذات الأبعاد الثلاثة . وفي كل أعماله لم يكن يبحث إلا في التوتر أو الضغط أو القوة الكهربائية ذات الحجم (الكتروسكوبي) . وبعد تجارب كوهلر كوهلر Kohnrausch الذي استطاع سنة 1848 ، قياس الضغط بواسطة الالكترومتر ، استطاع كيرشهوف بمعاونة هذا الحجم أو الكم مع الزخم الكهرستاتيكي ؛ وسرعان ما تبين ، بعد الأخذ بقانون جول ، أنه التعريف الوحيد السليم للطاقة .

أهمية وتنوع أعمال وليم تومسون : كان وليم تومسون (لورد كلفن) (1824 - 1907) أكثر قديماً من كيرشهوف . في سنة 1842 نشر في كمبريدج عملاً مغفلاً (حول الحركة المتسقة للحرارة في الأجسام المتجانسة وعلاقتها بالنظرية الرياضية للكهرباء) وهي نظرية طورها هو بعد ثلاث سنين .

وفي سنة 1845 ، أمضى ستة أشهر في باريس وكشف أمام العلماء الفرنسيين : « محاولة » غرين Green . وقام بإعادة طبعها في سنة 1850 . ونشر في صحيفة « ليفيل » رسالة حول مبدأ الصور الكهربائية « كما نشر مذكرة حول القوانين الأولية التي تحكم الكهرباء الثابتة . وطور هذه البحوث في السنة التالية في مذكرة بعنوان : « حول النظرية الرياضية في الكهرباء المتوازنة » . وقد أشار في هذه الرسالة الأخيرة إلى الشبه الخالص بين معادلات الكهرباء الثابتة وإيصال الحرارة الثابتة ، وهذه المشابهة جرت إلى المماهة في السمات بين السطوح المتساوية الزخم والسطوح المعزولة حرارياً أو الثابتة الحرارة : وفي الحالتين كانت المعادلة الأساسية هي معادلة لابلاس على الرغم من أنه في الحالة الأولى يفترض وجود مفعول من بعد وفي الحالة الثانية انتشار تدريجي ، ويبدو أنه هنا تكمن المحاولة الأولى للتعبير رياضياً عن أفكار فرادي .

وبعد ذلك بستين انطلق تومسون من المبادئ التي وضعها فرادي فحاول أن يضع « تمثيلاً ميكانيكياً للقوى الكهربائية والمغناطيسية والتحليلية (الغالفانية) » بواسطة مطاطية الجوامد . وظلت هذه الأفكار الميكانيكية تغريه ، وبقي يعود إليها طيلة حياته .

وهكذا جرت إلى اعتبار الحقل (أو الحث) المغناطيسي ، « كجذر لزخم سهمي » مرتبط فقط بزخم وبشكل الحقلات التي تحدث هذا الحقل . وقد استخدم مكسويل هذه النتيجة فعرف الزخم السهمي بصورة مستقلة عن كل مماثلة ميكانيكية .

ومن سنة 1849 إلى سنة 1851 ظهرت له أربع مذكرات مختلفة النوعية هي « النظرية الرياضية في

المغناطيسية « وهي نظرية ظاهرية مرتكزة على « الأساس الوحيد للوقائع المعروفة عموماً وبصورة خاصة على بحوث كولومب » أي دون تدخيل مائعي بواسون . وهذان المانعان استعصى عنها بمقادير محددة بواسطة القياس التجريبي : المغنطة ، القابلية التبادلية (وهاتان السمتان الأخيرتان مرتبطتان فيما بينهما) . وأدت الدراسة ، التي سبق أن بدأ بها بواسون ، للقوى التي تعمل في تجاوزيف ذات أشكال متنوعة أدت إلى تعريف دقيق لما نسميه نحن مع مكسويل الحث والحقل المغناطيسين ، وربما كان من الأفضل له إبقاء الأسمين اللذين أطلقهما تومسون للقوى أو (الحقول) بحسب تعريفهما الكهرمغناطيسي والقطبي .

وفي المذكرة الثالثة من هذه المذكرات يوجد التعبير الصحيح « زخم الحلقة المغلقة المغلفة » ذات الشكل الحر ، وذات الزخم i ، وهو تعبير تعطيه وظيفة متعددة الأشكال لا تتحدد قيمتها إلا بمعدل تقريبي هو $(4\pi ni)$ باعتبار (n) عدداً صحيحاً ، مما يعني أن كل دورة تلف الحلقة يقوم قطب وحدة يعمل يساوي $4\pi i$: وهذا ما يسمى فرضية أمبير - وهي داخلة ضمناً في معادلاته ولكنها غير مصاغة من قبله صياغة واضحة .

وطورت المذكرة الرابعة نظرية الآثار المغناطيسية البلورية (مانيتوكريستالين) . والشيء العجيب هو أن و.تومسون ظل لمدة طويلة ينظر بشك إلى نظرية التيارات الجزيئية التي قال بها أمبير . ولم يوافق عليها بصورة قطعية إلا في سنة 1856 بعد أن حاول أن يضع « تبييناً ديناميكياً » لمفاعيل التكثيف الدائري المغناطيسي وبعد أن اقتنع أن الظواهر المغناطيسية لها سمة الدوران الأساسية .

ومن سنة 1850 إلى 1859 ، أهتم عدة مرات بمسائل الطاقة ، أو « القيم الميكانيكية لتوزيعات الكهرباء والمغناطيسية والغلفنة » . وعطى لطاقة نظام المغناطيسات الدائمة أو المحتثة الصيغة التالية :
$$W = \int (\mu H^2/8\pi) dV$$
 (7) التي استخدمها فيما بعد مكسويل . وفيها بدت الطاقة وكأنها موزعة في كل الفضاء بين مختلف عناصر الحجم (dV) حيث تمثل الشفافية (μ) والحقل المغناطيسي (H) . ثم وسع هذه الصيغة حتى شملت التيارات . وبين أن الطاقة الكهرمغناطيسية في حلقة يمر بها تيار تساوي $Li^2/2$ ، باعتبار (L) تساوي معامل الحث الذاتي الذي يعبر عنه بصورة طاقة . وقد حسب هذا المعامل في حالة البوين أو البكرة . في سنة 1853 اتجه انتباه تومسون نحو ظاهرة تكررت عدة مرات . فمنذ سنة 1827 ، درس ف. سافاري مغنطة الإبر الفولاذية بفعل تفريغ شحنة مكثفة . فلاحظ في هذه المغنطة طبقات متتالية واستنتج منها أن « حركة الكهرباء بخلاف هذا التفريغ تقوم على سلسلة من التآرجحات » . ونفس الرصد أو الملاحظة تمحّل لجوزيف هنري في سنة 1842 . وضبط و.تومسون المسألة عن طريق الحساب : فأخذ في الاعتبار قدرة المكثف ، والمقاومة الذاتية في الحلقة ، فنظم النظرية الكاملة للظاهرة ، ووضع شروط الأرجحة وحسب التواتر والتخميد . وبعد أربع سنوات تحققت استنتاجاته كلها بصورة تجريبية على يد فيدرسن Feddersen الذي حلل الظاهرة بواسطة مرآة دوارة . وكانت هذه التعريفات المتأرجحة والتي لعبت دوراً أساسياً في تجارب هرتز ، قد استخدمت لبث موجات الراديو إلى أن تم اكتشاف المعبات ذات المشاغل الثلاثة .

وبتداء من سنة 1854 أهتم تومسون بالتلغراف تحت البحار : فاشترك بنفسه في وضع أول كابل

بحري بين أوروبا وأمريكا ووضع أجهزة استقبال (سيفون ريكوردر ، وغلفانومتري حساسة) . ونظم معادلة انتشار الاشارات مع الانتباه إلى المقاومة وإلى القدرة الموزعتين على طول الكابل (باعتبار أن الحث الذاتي مهمل) . وبين وجود تشويه وتأخر تدريجي لأن السرعة تتعلق بالتوتر .

وفي سنة 1857 تصدى كيرشهوف لمسألة مماثلة ، وهي مسألة انتشار الاشارة الكهربائية على طول الخط التلغرافي ذي المقطع الدائري . وفي هذه الحالة يجب الانتباه بأن واحد للحث الذاتي وللمقاومة وللقدرة الموزعة كلها على طول الخط . وافترض ان زخم التيار الكهربائي هو ذاته في كل مكان من المقطع المستقيم مستخدماً المعادلة (5) التي وضعها فيبر - ميباً بهذا انها قابلة للاستعمال - فحل كيرشهوف المسألة تماماً . ووضع في هذه الحالة الخاصة «معادلة التلغرافين» التي عثر عليها هيفيسايد Heaviside فيما بعد بكل عموميتها (1876) . وحسب تعابير الحث الذاتي والقدرة على اساس وحدة الطول في الخط ، وبين انه إذا كانت المقاومة ضعيفة لحد الاهمال ، فإن الاشارات تنتشر بسرعة تساوي النسبة بين وحدات نظامين كهربائيين ، نسبة استطاع قياسها فيبر وكوهلر وش Kohlrausch بواسطة سرعة الضوء . وظلت هذه النتيجة كلاسيكية رغم ارتكازها على الكتروديناميك ذي مفعول بعيد يطبق على التيارات شبه الساكنة . ولا شك أنه قد ساهم في توجيه فكر مكسويل .

ومن بين الأعمال الأخرى التي قام بها وليم تومسون ، نذكر النظرية الترموديناميكية في الظاهرات الترموكهربائية (1851)، ونذكر صنع الالكترومتر ذي الربعيات (1867) والالكترومتر المطلق 1870، والقياس الجديد لنسبة الوحدات، ثم تحديد وحدة الأوهم ، الخ . وقد سمي كلفين باروناً في سنة 1892 .

IX - النظريات الميكانيكية

وبدا اكتشاف مبدأ حفظ الطاقة في اعين المعاصرين كاعلان عن وحدة قوى الطبيعة . وكان هذا المسدأ معروفاً منذ زمن بعيد في الميكانيك تحت اسم « قاعدة القوى الحية » . وكذلك سمي الترموديناميك في بادىء الأمر « النظرية الميكانيكية للحرارة » . ومن جهة اخرى ارتكزت نظريات الاوبتيكا ، كنظريات فرنل مثلاً التي كان نحاسها باهراً جداً ، على الصور الميكانيكية . فكان من الطبيعي إذاً أن يعتقد الفيزيائيون في ذلك الحين ، بإمكانية تحقيق المثال الذي قال به ديكارت ، بشكل ايجابي وهو : رد كل الظاهرات إلى صور وإلى حركة - شرط ادخال بعض المفاهيم الجديدة مثل مفاهيم الطاقة المتحركة والطاقة المترتبة الكامنة . ويبدو أنه لم يكن هناك إلا مشكلة باقية هي : وضع نظرية ميكانيكية للكهرباء وللمغناطيسية . وهذه النظرية الميكانيكية يفترض بها بذات الوقت أن تنبئ توضيح بنية الأثير

وحقاً أواخر القرن التاسع عشر بذلت جهود ضخمة في هذا الاتجاه من قبل اعظم علماء الرياضيات الفيزيائية امثال : و . تومسون وج . ستوكس G.Stokes ، وكيرشهوف ومكسويل وهلمولتز - الذي لعب عمله حول الزوايح دوراً اساسياً - ول. بولتزمان Boltzmann ، وك . آ . بجركنس C.A.Bjerknes ولارمور Larmor الخ . ولم تكن هذه المحوث إلا محاولات ماهرة وفاشلة لو أنها لم تستمد منها الأفكار الأكثر تجريداً فيما يتعلق بالسهم الوجه (فكتور) (Vecteur) وبالْمَوْثَر (tenseur)

والحقول ، ثم بالتناظر (سيمترية) والمؤثر (اوبيراتور) وكلها مفاهيم تستخدم في الفيزياء اليوم وهناك تحليل مقتضب يستطيع أن يفهم بعضاً من الأفكار العامة التي كانت تراود في ذلك الوقت عقول غالبية المنظرين - والتي تبدلنا اليوم بعيدة جداً .

وقد عرف فراداي قوانين التعاكس التي تربط « بشكل دائري » بين الأسهم الموجهة الكهربائية والمغناطيسية . وبعد مضي عشرين سنة كانت غالبية الفيزيائيين متفقة حول هذه النقطة . ولكن من جراء هذه الواقعة برزت من الناحية الميكانيكية مسألة خيار .

إذا قبلنا بما قال به امير من ان التيار الكهربائي هو تيار مادي حقيقي ، فان الحقل المغناطيسي ، كسب لهذه الحركة ، يشارك بسمات مماثلة ويمكن تشبيهه بنقل داخل جامد مطاطي . وعندها تمثل خطوط القوة (أو بصورة اولى خطوط الحث) المغناطيسية محاور الزوايح المتكونة بفعل هذه الحركات . وتفرض هذه الصورة نفسها بشكل واضح تماماً إذا عزونا مغنطة الأجسام إلى تيارات تتجول داخل الجزيئات . وقدمت نظريات ميكانيكية من هذا النمط ، مع غيرها من قبل تومسون ، خاصة بعد 1856 ، ومن قبل مكسويل سنة 1861 . ولكن يمكن أيضاً الافتراض كما فعل ارستيد CErsted و « ولاستون » Wollaston أن الحيط الذي يمر به تيار كهربائي هو محور زويعية متكونة من سائل يتحرك وفقاً لخطوط القوة المغناطيسية . وقد دعمت هذه الرؤية التي اقترحها - من بين آخرين كثيرين - فراداي ، من قبل هلمولتز بشكل خاص في سنة 1858 ومن قبل كيرشهوف انطلاقاً من سنة 1860 . وطور تومسون ومكسويل في بداية بحثونها معادلات ميكانيكية من هذا النوع .

وفي الحالتين يمكن تفسير القوى الكهربائية والمغناطيسية بصورة هيدروديناميكية : جذب و دفع بين الزوايح . وقد درسها هلمولتز ولوحظت بين « دوائر » الدخان تفاعلات بين « الكرات النابضة » المقاسة ، خاصة من قبل ش. آ. بجركنس C.A. Bjerkenes (1877) .

والمسألة التي تطرح نفسها واقعاً - والتي افصح عنها بكل وضوح بيار كوري P. curie سنة 1883 - كانت تقوم على معرفة ماهية « تناظر » الحقلين المغناطيسي والكهربائي . مسألة مطروحة بهذا الشكل ومحررة من كل صورة ميكانيكية ، وقد حلها تومسون ومكسويل ثم كوري : إن الحقل الكهربائي هو سهم موجه قطبي ذو سيمترية تشبه التنقل أو المخروط . والحقل المغناطيسي هو سهم مجوري يشبه الاسطوانة الدائرية (والسبب الرئيسي الذي جاء به تومسون ومكسويل كان : التناظر المميز عن التكثيف الدائري المغناطيسي للضوء . وأضاف إلى هذا السبب ب. كوري سبباً آخر واضحاً أيضاً : أن تناظر الحقل الكهربائي محدد من طرف واحد بظاهرة الكهربائية الضغطية Piezo - électricité التي اكتشفها في سنة 1881 برفقة اخيه جاك كوري وهي الواقعة القائلة : « بأن الشفرة المحددة بشكل ملائم داخل بلورة نصف سطحية ومنحنية الجوانب وموضوعة بين ورقتين من القصدير تشكل مكتفاً من شأنه أن يشحن ذاته بذاته عندما يُضَغَط ») .

أما الأخير فالخصائص الميكانيكية التي يجب ان تعزى إليه كانت عجيبة نوعاً ما - فهو مرة مائع كامل ومرة جامد وكان من الواجب أن يكون قادراً على نقل الذبذبات الاعتراضية ثم - من أجل تفسير انعدام الموجات الطولية - بالامكان القول بأن سرعة هذه الموجات الأخيرة كانت لا نهاية لها (عدم

الانضغاطية الكاملة) ، أو معدومة (الانضغاطية الكاملة) ، وعاد تومسون إلى فرضية ماك كولاج Mac Cullagh ومفادها : في حين تعزى مطاطية الأجسام المادية إلى مقاومة تغيرات الشكل والتمدد والتشقق ، تكون مقاومة الأثير ردة فعل لدوران عناصر الحجم بالنسبة إلى توجيهها المتوازن ، وهي ردة فعل لا وجود لها إلا في المادة العادية : وهذه هي فرضية الصلابة الجيروستاتية Gyrostatique .

كل هذه الصور نوقشت باختصار حتى حوالي 1905 . ففي سنة 1900 أيضاً نشر لورد كلفين في المؤتمر الدولي في باريس تقريراً « حول حركة الجامد المطاطي غير المحدد ، المجتاز من قبل جسم يؤثر فيه بفعل الجذب والدفع » ، وهو تقرير القصد منه مناقشة نظرية ميكانيكية الأثير . « حيث اشعر بوجود فشل ؛ هو في جهودتي الدؤوبة منذ خمسين سنة لفهم شيء أكثر عن الأثير الضوئي وعن المادة وتأثيره وتدخله في القوى الكهربائية والمغناطيسية . ولا أعرف اليوم عن هذا الموضوع أكثر مما كنت أعرفه من خمس وخمسين سنة » .

وكذلك صرح « لارمور » وهو مؤلف أيضاً حول النظريات الميكانيكية (في 1900) : يتوجب الإقلاع عن « تفسير المجموعة البسيطة من العلاقات التي تحدد نشاط الأثير وذلك بمعالجتها كمواقب ميكانيكية لبنية خفية في هذا المحيط » .

وكان من المعروف منذ 1892 وجود نظرية ظاهرية كاملة حول الكهرباء المغناطيسية هي نظرية هرتز . وكانت النسبية ونظريات الكتلة على الأبواب .

X - مكسويل ونظرية الحقول الكهرمغناطيسية

الرسم الأولى لنظرية رياضية حول الحقل الكهرمغناطيسي : في سنة 1855 ، وفي عمر من 24 سنة نشر حامس كلرك مكسويل James Clerk Maxwell (1831 - 1879) أول مؤلف له حول الكهرباء بعنوان : « خطوط القوة عند فرادي » . وفيه استلهم بصورة أساسية من كتاب : « البحوث التجريبية » ومن مقالات نشرت بقلم و. تومسون في سنة 1845 و 1847 . وقدمت له هذه المقالات نماذج من مشاهبات فيزيائية وميكانيكية ، وإيضاحات دقيقة حول أفكار فرادي . وفي هذه المذكرة ، لم يقدم مكسويل نظرية ميكانيكية متماسكة بل سلسلة من الصور الهيدروديناميكية اتاحت له التعبير عن قوانين الكهرباء المغناطيسية بأسلوب رياضي جديد في معظمه (وعثر في إحدى الحالات الخاصة على قاعدة مهمة اثبتها ج. ستوكس G. Stokes قبل ذلك بعدة سنوات) .

وبين أولاً أن قوانين الحقل الكهرستاتيكي هي مماثلة تماماً لقوانين الحركة اللادائرية في مائع غير قابل للضغط ، بين المائع - الشحنات الإيجابية - والآبار - الشحنات السلبية . ويمكن كذلك مقارنة خطوط القوة المغناطيسية المتولدة بفعل تيار كهربائي ، وتحيط دائرياً بحركة زويعية من مائع غير قابل للضغط .

وإن نحن نظرنّا عندئذ إلى تيار كهربائي موزع على مختلف النقاط وموصل لثلاثة أبعاد بثقل نوعي (u) ، تستطيع قاعدة امبير ، بفضل « صيغة ستوكس » أن تكون مثله محلياً بالمعادلة ذات المشتقات الجزئية التالية : $(\text{rot H} = 4\pi u)$ حيث يكون الدوراني (rot) في الحقل المغناطيسي (H) هو سهم

اضافي حسب مكسويل مكوناته الثلاثة الديكارتية ويمثل كمياً الكيفية التي فيها ، وفي كل نقطة من الفضاء ، تعزل خطوط القوة المغناطيسية حول خطوط التيار الكهربائي (نعث في مذكرات كلاسيكية لـ كوشي A.Cauchy حول تحريقات الأوساط المستمرة (1827، 1841) على صيغ مماثلة تدل على مكونات « الدوران الوسطي لعناصر الحجم » وهناك معادلات أكثر عمومية كان قد وضعها ج. ستوكس في كتابه « نظرية التفارق الديناميكي » (1849) .

إن المعادلة رقم (8) تعادل عملياً القانون رقم (1) الذي وضعه بيوت وسافارت كما تساوي القواعد التي وضعها امير . ولكن وبسبب ان مطلق معادلة تفاضلية تحمل محل قانون فاعل من بعيد ، تكون الخطوة الأولى قد انتقلت في مجال الكهرمغناطيسية من النظريات من النمط النيوتني إلى النظريات حيث ينظر إلى الانتشار المتقارب في الفضاء .

وفي القسم الثاني من مذكرته اهتم مكسويل بمفاعيل الحث . والمماثلة التي لحظها فراادي بين قانون هذه المفاعيل وقانون الكهرمغناطيسية ، يمكن أن تقوده دفعة واحدة إلى « معادلته الثانية » . وبدا غير آبه بها ، واكتفى بتوضيح مفهوم الحالة الكهربائية الضاغطة التي بقيت مهمة ، توضيحاً رياضياً : وما هي بين الزخم الكهربائي الضاعط وبين الزخم الموجه الذي عرفه و. تومسون سنة 1847 باعتباره دائري الحث المغناطيسي ، والذي استخدم ضمناً في بحوث سابقة من قبل ف. نيومان ، وفيير وكيرشهوف . ونتج عن هذا التعريف ان دفع الحث المغناطيسي الذي يمتاز سطحاً محدداً باطار يمكن أن يفسر بدون غموض تبعاً لقيم الزخم الموجه ، في مختلف نقاط هذا الاطار . وعندها ارتدى قانون « فراادي - نيومان » شكلاً بسيطاً :

« إن القوة الكهربائية المحركة (الحث) في كل عنصر داخل موصل تقاس بصورة كمية ، ومن حيث الاتجاه بالسرعة الآتية في تغيرات الزخم الكهربائي المتحرك (أو الزخم الموجه) ضمن هذا العنصر » ، وهذه الصيغة تساوي ، إنما بشكل مدموج المعادلة الثانية من معادلات مكسويل .

وهذه المذكرة ، رغم ما فيها من مشابهاة ميكانيكية ، تهدف بصورة فريدة إلى تقديم مفهوم واضح إلى الجيومترتي عن علاقات خطوط القوة في الفضاء الذي ارتسمت فيه هذه الخطوط .

نظرية الزواضع الجزئية وتطبيقاتها . معادلات مكسويل : بعد ست سنوات من التفكير ومن النشرات حول مواضيع أخرى (1861 - 1862) اصدر مكسويل عملاً آخر : « حول فيزياء خطوط القوة » ، وفيه يقترح على نفسه تفحص الظواهر المغناطيسية من وجهة نظر ميكانيكية ، أي أنه اقترح بناء نظرية ميكانيكية متماسكة ما أمكن حول كل الكهرباء المغناطيسية .

وكانت رهييمته الأساسية هي رسيمة اثير متكون من جملة خلايا تدور ، في حقل مغناطيسي بنفس الاتجاه حول محاور موازية لخطوط القوة .

والقوة الحركية لهذه الحركة الزويعية ليست إلا الطاقة المغناطيسية التي يعطيها ، في كل نقطة من الحقل المعادلة (7) من معادلات و. تومسون . إن الخلايا المستقلة يفترض بها أن تكون مائتة ، إن القوة النازعة عن المركز تعددها في خط استوائها ثم تقلصها بحسب خط القطب . ومن هنا تنتج توترات

وضغوطات مغناطيسية تعمل في الوسط كما تحلل فرادي . ويتيح النموذج حسابها . والقيم الحاصلة هي القيم التي اعطتها فيما بعد نظرية ظاهرانية صحيحة . ولكي ينتقل الدوران بنفس الاتجاه من خلية إلى أخرى ، يجب الافتراض بأنها مفصولة بنوع من الدولاب ذي «الجلل» : وهذه «الجلل» أو الكرات ، المتناهية الصغر تشكل الكهرباء . وهي حرة في ان تتحرك بحدة احتكاكاً داخل الموصلات ، وتكون في الفراغ ، وفي العوازل ، مرتبطة بصورة مطاطية بالخلايا . والحقل الكهربائي العامل فيها يحدث في الموصل تياراً دائماً ، وفي العازل يحدث تنقلاً كهربائياً محدوداً بالانعكاسات المطاطية بين الجلل والخلايا . وفي هذا التنقل يقوم الحث الكهربائي كما قال به فرادي .

وهكذا تتراكم في كل نقطة من « الجسم العازل » الخاضع للحث طاقة ، هي ، في النموذج ، مطاطة إلا أنها في الواقع ليست إلا الطاقة الكهربائية . وقد أعطى مكسويل عنها تعبيراً له نفس الشكل الورد في المعادلة (7) ، حيث يأخذ الحقل المغناطيسي (E) محل الحقل المغناطيسي (H) ، وتحل الثابتة العازلة (ε) ، محل الشغافية . وهذا التعبير هو : $dV = (εE^2/8\pi) dV$ (7 bis) وكلما هو الحال في كل وسط مطاطي ، بولد انتقال الكهرباء المرتبطة بالخلايا وتوترات وضغوطات . وهي هذه التوترات والضغوطات الكهربائية التي تنبأ بها فرادي . ويتيح النموذج حسابها والنتيجة تكون صحيحة .

والعاقبة الأكثر أهمية في هذه الطريقة هي أنه ، إذا كان الحقل الكهربائي المؤثر في العازل الكهربائي - وهو مادة عازلة أو فراغ - يتغير مع الوقت فإن موقع الحبيبات الصغيرة من الكهرباء يتغير وينتج عن ذلك تيار انتقالي حقيقي يحدث حوله نفس آثار المغناطيسية التي يحدثها تيار جاري في معدن ، لأنه لا يختلف عنه بالطبيعة ، ففي الحالتين يؤدي تحرك الحبيبات إلى دوران الخلايا . هذه النظرية « نظرية الزوايح الجريشة » طورها مكسويل في كل تفصيلاتها وطبقها على التوالي على المغناطيس وفي التيارات وفي الكهرباء الستاتية . وهي تبدو لنا اليوم معقدة لأنها تدخل في كل خطوة فرضيات يصعب توضيحها . وقد تحلل مكسويل عنها فيما بعد .

ولكن يبدو من المؤكد أن النظرية قد أوحث له ببعض الأفكار وبعض النتائج الأساسية التي تحتفظ بكل قيمتها :

- 1 - احلال الطاقات في كل الفضاء . والطاقة المغناطيسية والطاقة الكهربائية - التي تتشابه التعابير فيها تبعاً للحقول - تلعبان ، على التوالي دوري الطاقة المتحركة والطاقة الكامنة .
- 2 - الحساب الدقيق للتوترات والضغوطات الكهربائية والمغناطيسية حيث تنتج - كما افترض فرادي - القوى المحركة الثقيلة المتزنة .

3 - في العازلات الكهربائية ، بما فيها الفراغ ، وجود تيارات ذات تنقل متناسبة مع السرعة الآتية في تغير الحث الكهربائي (D) (المسمى اليوم باسم التنقل الذي اعطاه اياه مكسويل) ، وليس فقط تبعاً لكثافة الجزيئات وحدها كما نوحى بذلك نظريات فرادي وموسوتي Mossotti .

وبالطبع انجرّ مكسويل ، إذ ، إلى اضافة « عبارة تنقل » إلى الشق الثاني من المعادلة (8) فكتب $\text{rot } \mathbf{D} = 4\pi \mathbf{n} + \partial \mathbf{D} / \partial t$ وهذه هي بالتام والكمال معادلته الأولى .

4- إن قانون الحث ، الذي عبرت عنه المذكرة الأولى بواسطة الكامن الموجه ، يمكن أن يصير عنه بشكل مواز بمعادلة تفاضلية هي ما يسمى بالمعادلة الثانية عند مكسويل :

إذا افترضنا « وحدة القوة الكهربائية » أي تمامي الطبيعة بين الحقل الكهربائي الستاتيكي والحقل الكهربائي المحرك الحثي - وهي فرضية وضعت ضمناً وفي الغالب ، خاصة من قبل فابر ، وفي ما بعد بصورة واضحة وموسعة من قبل هـ هرتز - هذا القانون يكتب : $\text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ (9) .

وينتج عن (9) ان التغير في الحقل المغناطيسي يولد ضمن عازل - وكذلك ضمن موصل - حقلاً كهربائياً حثاً ، وينتج عن (8bis) أن هذا الأخير التغير ايضاً ، يولد بدوره حقلاً مغناطيسياً ، وهكذا دواليك (ضمن العازل ، يكون التبدل الكهربائي والحث المغناطيسي متناسين ، تبعاً للحقول المقابلة : $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ ، $\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$) ؛ باعتبار (ϵ) هي الثابتة الكهربائية المشوية و (μ) هي الشفافية المغناطيسية) . إن الإشارة الكهرمغناطيسية يمكنها بالتالي أن تنتشر تدريجياً في الفضاء . وتنتج النظرية حساب سرعة هذا الانتشار . وفي الفراغ تعادل هذه السرعة النسبة بين الوحدات ، أي انها تعادل سرعة الضوء . وبالنسبة إلى الأجسام الشفافة ، وجد مكسويل بين الثابتة العازلة ومؤشر الانكسار (n) العلاقة التالية : $n^2 = \epsilon$ التي تثير ، وأثارت طيلة أكثر من ثلاثين سنة الصعوبات لأنها قلما تتحقق . ولكنها امتت نجاح « النظرية الكهرمغناطيسية في الضوء » عندما امكن ايجادهم السبب في تشتت الألوان عبر المشور .

الشكل النهائي لنظرية مكسويل - احس مكسويل بوهن ، وبالصيغة الدقيقة جداً لنموذجه حول الأثير ، فشر في سنة 1864 مذكرة بعنوان « النظرية الديناميكية حول الحقل الكهرمغناطيسي » . وفيها ارتدت افكاره الشكل النهائي الذي بقي لها في كتابه (الوسيط في الكهرباء والمغناطيسية) (1873) الذي بقي انجيل الكهربائيين . والنتائج التي حصل عليها في سنة 1862 عرضت في هذا الكتاب ، ليس بشكل ظاهراتي دقيق ، بل بعد تقليص الفرضيات والصور : « إن وجود وسط اثري نافذ إلى كل الأجسام ، وأولية معقدة . . . خاصصة للقوانين العاصة في الديناميك » . ولكن « هدف في بشكل خاص توجيه فكر القارئ نحو الظواهرات الميكانيكية التي تمكنه من فهم الظواهرات الكهربائية . . . وهذا دوقية توضيحية وليس تفسيرية » . إلا أن الطاقة المحددة المكان في الفضاء « توجد تحت شكلين مختلفين يمكن وصفها بدون فرضية ، كتكثيفات كهربائية ومغناطيسية ، أو وفقاً لفرضية كثيرة الاحتمال [ونحن نقول هذا] كحركة أو كتشويه لنفس المكان » .

من هذه المذكرة لا نذكر هنا إلا فكرة مهمة وخصبة : اعتبر مكسويل أن الطاقة الكهربائية قوة كامنة ، والطاقة المغناطيسية كمتحركة وقدم مكسويل التعبير الرياضي عن هذه الفكرة بالنسبة إلى معابير تمثيلية (مثل كميات الكهرباء الموردة ، وكذلك المعابير الجيومترية) والسرعات (زخم التيارات ، والسرعات المتحركة) . وكانت معاملات الجمود الكهربائي « المشابهة للكميات ، والتي تتدخل في التعبير عن الطاقة الحركية هي معاملات حث .

وبعد هذا ، اتاحت الطرق المعتادة في الميكانيك التحليلي كتابة « معادلات لاغرنج » ومن هذه المعادلات انبثقت بصورة اوتوماتيكية ، اذا قبلنا بالقانون (8 bis) في الكهرمغناطيسية ، المعادلة (9) في

الحث ، وقيمة القوى المتحركة المتزنة (المعادلة 2) . ويقول آخر أتاح تطبيق المبادئ العامة في الميكانيك خفض عدد القوانين المستقلة التي تقدمها لنا التجربة . وإلى هذه النتيجة رمى تفكير هنري بوانكاريه عندما كتب : « لا يعطي مكسويل تفسيراً ميكانيكياً للكهرباء والمغناطيسية . أنه يكتفي ببيان امكانية هذا التفسير » . والواقع أن هذا التفسير غير ممكن ، إنما لأسباب لم تعرف في أواخر القرن التاسع عشر .

وطبقت طريقة مكسويل هذه على نظرية الالكترونات ، وبسطها هـ. آ. لورنتز وج. لارمور J. Larmor . واستخدم هذا الأخير بشكل خاص ، بدلاً من معادلات لاغرانج ، مبدأ هاملتون الذي يقود مباشرة إلى الهدف بعد الاصرار على اعطاء « متكامل العمل » (*intégrale d'action*) ، حيث يتدخل « عامل لاغرانج » ، قيمة قصوى (دنيا بشكل عام) .

وفي حالة الكهرمغناطيسية الكلاسيكية يتكون عامل لاغرانج من الفرق بين الطاقتين المغناطيسية والكهربائية . وتطرح أكثر من نظرية حديثة ، بعيدة جداً عن كل فكرة كائنة ميكانيكية ، وبصورة مسبقة ، بعضاً من « العوامل اللاغرانجية » ، ثم تستخرج منها ، بنفس طريقة الحساب ، علاقات [معادلات] قابلة للتحقق عن طريق التجربة . هذا التعميم الكثير الخصب في طرق الميكانيك يجد منشأه في عمل مكسويل

ضغط الاشعاع : يبقى علينا أن نتكلم أيضاً عن أحد اكتشافاته : لقد وسع مكسويل في كتابه نظرية التواتر والضغوطات الكهربائية والمغناطيسية وطبقها على الضوء وبين أنه عندما يكون الضوء ممحصاً أو ممكوساً ، فيجب أن يضغط على المادة ضغطاً اشعاعياً ، وهو ضغط ضعيف جداً حسب قيمته بالنسبة إلى الطاقة النازلة .

وهذه النتيجة ، المرتكزة على نظرية حاصة قليلاً ، وضعت موضع الشك في بادئ الأمر . وفي سنة 1876 قرر « بارتولي » Bartoli أن هذه النتيجة هي اثر حتمي للمبدأ الثاني في الترموديناميك ، مطبقاً على الطاقة المشعة . ولم تثبت هذه النتيجة بالتجربة إلا في سنة 1899 من قبل ليبيديف (Lebedev) ونحن نعرف الدور المهم الذي تلعبه في النجوم هذه الضغوطات التي قال بها مكسويل وبارتولي .

وأمل أنني استطعت تحسيس القارئ من خلال هذا التحليل الموجز ، بالاهام العميق وبالمرونة القصوى لفكر مكسويل . وعمله في الترموديناميك وفي نظرية الغازات هي أقل أهمية بقليل . ونحن لا نستطيع إلا الاكتفاء بالإشارة إلى هذه التجارب الكهربائية وإلى نظريته في السلوان وإلى أعماله الأخرى . ورغم انه كان من المستحيل تقريباً - وكذلك بالنسبة إلى غالبية الرجال في عصره - اعتبار الظواهر الفيزيائية بغير تعابير التصاوير والحركة أي بالطريقة الميكانيكية ، فقد علمنا عندما مات وهو ابن 48 سنة اساليب جديدة في التفكير .

XI - التثبت التجريبي وتطور نظرية مكسويل

الإتكسار الكهربائي المزوج ومفعول رولاند Rowland : من بين التجارب التي اثارها نشر كتاب « الوسيط في الكهرباء » لمكسويل وعموجات الفكر التي اثارها ، لا نذكر منها إلا اكتشافين سابقين على اكتشافات هرتز .

في سنة 1875 اكتشف ج. كير J.Kerr رابطة جديدة بين الكهرباء وعلم البصريات : إن الأجسام الشفافة الكثيفة وكذلك السوائل تصبح مزدوجة الانكسار عندما تخضع لحقل مغناطيسي ثابت . وبحوالي ذات السنة طلب هلمولتز من الفيزيائي الأميركي هـ.أ. رولاند H.A.Rowland الذي جاء يعمل في مختبره ، أن يثبت من أن التيارات المحمولة أي الشحنات الكهربائية الساتية المتحركة تحركاً انتقالياً ، تخلق حولها حقلاً مغناطيسياً كما افترض ذلك صراحة أو ضمناً بعض الفيزيائيين وخاصة فراداي وفير ومكسويل . وقد نشرت هذه البحوث في سنة 1876 : لقد احدث الصحن العازل المغطى فوق وجهه بأوراق الذهب المشحونة بذات الاشارة ، والموضوعة في حالة دوران سريع ، نفس المفاعيل المرتقبة .

وقد وضعت هذه النتيجة موضع الشك بعض الوقت على اثر تجارب ذكية جداً ولكنها مشوبة بالخطأ من قبل كرميو V.Cremieu (1900) ولكن كل شيء دخل ضمن الترتيب عندما اكتشف سبب الخطأ من قبل بندر Pender وكرميو . ونشير أخيراً إلى أن « أئر رولاند » ، الحاصل من جراء حركة الشحنات ذات العلامة الواحدة ، هو اعتراض حاسم ضد المعادلة (6) التي وضعها فير - ولكن ليس ضد نظريات العمل عن بعد التي قال بها كلوزيوس Clausius وهلمولتز .

الأعمال الأولى التي قام بها هرتز : كان هنريك هرتز (1857 - 1894) ابن 21 سنة عندما دخل إلى مختبر هلمولتز في برلين وعندما تصدى لسألة مطروحة كمسابقة من قبل كلية الفلسفة في الجامعة : « قياس الطاقة الحركية في الكهرباء المتحركة » ؛ أما وفقاً للتعبير الحديثة فالسؤال هو تحديد العلاقة m/e بين الكتلة والشحنة في حاملات التيار الكهربائي في المعادن . وفي آب 1879 منحه الكلية الجائزة . وقد استطاع ، عن طريق نهجين مبتكرين ، أن يقدر حداً اعلى للعلاقة المبحث عنها . ومن وجهة نظرنا الحديثة تعتبر النتيجة سلبية : أن الحد المعثور عليه كان اعلى بكثير من القيمة الحقيقية .

ولم يكن هناك شيء يحمل على الظن ، بالنسبة إلى المعادن ، أن الشحنات الكهربائية المتحركة هي الكترونات اكثر خفة من درات الهدروجين بالفي مرة ؛ وأنه في سنة 1916 فقط ، وبواسطة وسائل اكثر قوة ومعارف اكثر اتساعاً استطاع تولمان Tolman أن يرصد وأن يقيس مفعولاً كان الفيزيائيون يومئذ قد لمحوا امكانية وجوده .

وبخلال نفس السنة 1879 لفت هلمولتز انتباه هرتز إلى مسألة اخرى طرحت في مسابقة اكاديمية العلوم في برلين : « التثبت تجريبياً من العلاقة بين القوى الكهربائية الديناميكية ، والتكثيف الكهربائي العازل » وكانت هنا مسألة من المسائل المركزية في الكهرباء المغناطيسية ، ومن حلها يستخلص الاختيار بين النظريات ذات المفعول من بعيد ونظرية مكسويل . وفهم هرتز أن هذا الحل لا يحصل إلا بفعل تجارب حول التفريغات المتأرجحة للمكثفات . ولكن حساباته الأولية كانت لا تشجعه : إن الآثار المرتقبة ، بواسطة الوسائل المطروحة ، كانت اقصى امكانيات الرصد والملاحظة .

ولهذا اقلع عنها واهتم بمسائل اكثر بساطة في الكهرمغناطيسية ثم ، في الأعمال التي بقيت كلاسيكية ، اهتم بمسائل اللمس المطاطي والصلابة ، وبتبخر الزئبق في الفراغ والتفريغات الكهربائية في الغازات المتندرة .

وفي سنة 1884 اهتم من جديد بمسائل الكهرباء المغناطيسية ونشر مقالة نظرية « حول العلاقات بين المعدلات الأساسية في الكتروديناميك مكسويل والالكتروديناميك الماكس » .

وبحذوه المثل الذي قده امير الذي اكتشف مفاعيل التيارات على التيارات ، لأنه افترض وحدة القوى المغناطيسية ، وضع « مبدأ وحدة القوة الكهربائية » . ثم طور المشابهة ، التي اشار اليها فرادي بين التيارات الكهربائية والحلقات المغناطيسية ذات الزخم المتغير ، أو « التيارات المغناطيسية » ، واستنتج منها أن هذه التيارات الأخيرة يجب ان تحدث حول نفسها حقلاً مغناطيسياً (بفعل الحث) ويجب أن تتلقى ، في حقل كهربائي ، قوى محركة متزنة . واتخذ كأساس « مقدمات مقبولة أيضاً في مجال الالكتروديناميك الخصب ، كما اتخذ اساليب في التحليل مألوفة في هذا المجال » ، فقرر عن طريق الحساب البسيط ، وإن غير المقتنع تماماً ، صحة معادلات مكسويل .

اكتشاف ودراسة التاريجحات الكهربائية السريعة : عين هرتز اسناداً في كارلسرو سنة 1885 . وتركز انتباهه مجدداً على التاريجحات الكهربائية ، بالرصد العرضي للشرارات المنبثقة بالتناوب من حلقتين مزودتين بتيارين ضعيفي المحالة الذاتية والمواصفة . عندها راوده أمل معالجة المسائل التي كان يفكر بها منذ سبع سنوات وذلك ضمن شروط اختبارية ملائمة . ونشر عمله بهذا الشأن في سنة 1887 تحت اسم (Ueber sehr Schnelle elektrische Schwingungen) .

وهذه مقدمة عمله : « تقضي النظرية امكانية حدوث تموجات اكثر سرعة [من سرعة التموجات الملحوظة من قبل فيدرسن Feddersen] ضمن موصلات مفتوحة لا تحمّل اطرافها شحنات ذات طاقة قوية . ولكن النظرية لا تستطيع أن تقر ما إذا كانت امثال هذه التموجات يمكن أن تنار بقوة ملحوظة [لا يمكن التنبؤ بأن مقاومة الانقطاع حيث تنبثق الشرارة تثقل عملياً من اللانهاية إلى الصفر بوقت عجيب القصر اقل من 10^{-8} من الثانية] . وبعض الظاهرات قادني إلى التفكير بحدوث هذا الأمر [الانقطاع] ضمن شروط ، وبقوة كافية بحيث تكون مفاعيلها قابلة للرصد من بعيد . إن التجارب اللاحقة قد ثبتت فرضيتي ... »

« إن هذه التموجات هي تقريباً أسرع بمئة مرة من التموجات التي درسها فيدرسن أما حقيقتها ، وفقاً لتقدير نظري خالص ، فهي من عيار جزء من اصل مئة مليون جزء من الثانية [طول الموجة ثلاثة امتار] . وجدواها تتأتى من هذه الواقعة . ومن الممكن أن دراستها بصورة ادق تفيد نظرية الالكتروديناميك » .

إن التجربة الأساسية بسيطة : يشكل خيط من نحاس مطوي بشكل مستطيل « حلقة ثنائية » . وهو مقطوع من وسطه في احد اضلاعه بمكرومتر M ذي شرارات . وهناك خيط آخر موصل يربطه من احدى النقاط فيه P بحلقة ذات تفريغ في بوبين حث ، أي حلقة مفتوحة جداً مكونة من قضيتين مستقيمتين موضوعين : الرأس على الرأس ، وبمحلان في اطرافهما كسرات تولد طاقات ، ومفصلة بمسافة يمكن التحكم بها ، منها تنبثق الشرارات الأولية . عندما توضع نقطة الاتصال P بشكل غير متناظر بالنسبة إلى الميكرومتر M ، تولد كل شرارة أولية شرارة ثنائية . ولكن إذا كانت النقطة P في

وسط الضلع المقابل من المثلث ، وإذا كان تقارن الشعتين كاملاً : نزول الشرارة الثانوية أو تكاد نزول : عندها نكون في حالة اللامبالاة » .

إن وجود هذه النقطة اعطى هرتز مفتاح الظاهرة . وتنتشر الاضطرابات الكهربائية على طول الخطوط بسرعة متناهية . أما الشرارات الثانوية فسيبها اختلاف في الزخم ، أي فارق موضعي أو مرحلي بين الذبذبات العالية السرعة في الزخم ، والتي سلكت سبلاً مختلفة في الحلقة الثانوية قبل الوصول إلى قطبي الميكرومتر . وهي تزول بذات الوقت مع زوال الاختلاف في المرحلة .

وتابع هرتز تجاربه فحصل أيضاً على شرارات ثانوية عندما الغى كل اتصال بين الحلقتين . ثم غيّر في حجم الحلقة الأولى وقاس في كل مرة بواسطة الميكرومتر الثانوي الطول الأقصى للشرارات ، ثم رسم منحني التجاوب وأحيراً لاحظ وجود عقدة تذبذب القوة الكامنة في منتصف الحلقة الثانوية .

وبعدما توغرت له كل العناصر في احاثه اللاحقة ومنها « المرنان » *resonateur* ، وحلقة بشكل مستطيل ، تتضمن ميكرومترًا ذا شرارات ، ثم الرقاص ، وهو قضيب معدني مستقيم ، مقطع من أجل عبور الشرارات الأولى ، ويعمل في كل طرف في وضع قابل للتعبير موسعة صغيرة مكونة من كرا أو صفيحة معدنية .

انتشار الموجات الكهرومغناطيسية : وبعد ذلك تابعت الاكتشافات بسرعة طيلة سنة . وفي تشرين الثاني 1887 ، نشر هرتز بحثاً حول « مفاعيل الحث المحدثة بفعل التفاعلات الكهربائية في العوارل » . وهذه المذكرة قدمت جواباً إيجابياً على المسألة التي طرحت منذ ثماني سنوات من قبل هلمولتز . وفي شباط 1888 ظهرت المذكرة الأساسية « حول انتشار المفاعيل الكهروديناميكية » وتبعتها بسرعة مذكرة ثانية حول « الموجات الكهروديناميكية في الهواء وانعكاسها » .

في بادئ الأمر صف هرتز تجاه إحدى الصفائح في رقاصه صفيحة أخرى بواسطة خيط طويل مستقيم ، وحث في هذا الخيط ، عن طريق التزويج الكهربائي ، موجات انتشرت فيه ، فانعكست في الطرف الآخر وشكلت بالتالي موجات ساكنة . ولاحظ بواسطة المرنان العقد والبطون ، وقاس طول الموجة ثم عرف بالحساب التواتر الخاص في الرقاص واستنتج منه سرعة الانتشار ، ثم لاحظ التداخلات بين الموجات المنبثقة من الكفة الثانية في الرقاص ، هذه التداخلات المنفولة عبر الهواء والتداخلات التي يوصلها الخيط ، ثم قارن بين سرعتين الانتشاريتين . وأخيراً بين في صالة طولها خمسة عشر متراً أن الموجات الهوائية تنعكس على حائط معدني وتولد في الفضاء موجات ساكنة. وبقيت هذه التجارب كلاسيكية ولكن الصعوبات كانت عديدة . ونتيجة خطأ في الحساب حول طاقة الرقاص عثر هرتز في البداية على سرعة متني ألف كلم في الثانية . وقد صحح هذا الخطأ سريعاً من قبل هنري بوانكاريه . ومن جهة أخرى ولدت الاضطرابات ذات المنشأ التجريبي ، وخاصة الامانة القوية التي اصابت ذبذبات الرقاص من جراء اشعاعه ، بعض الشكوك .

ولم تحسم المسألة نهائياً إلا بعد القياسات الدقيقة التي قام بها ليشر *Lecher* سنة (1890) ، ثم

سارازين Sarasin ول. دي لاريف La Rive سنة 1893 : إن سرعة الانتشار في الحيوط وفي الهواء هي بالضبط سرعة الضوء .

وقامت سلسلة اخيرة من التجارب ، نشرت اوصافها تحت عنوان : « حول اشعة القوة الكهربائية » في كانون الأول سنة 1888 . وحسّن هرتز اجهزته فحصل على موجات قصيرة من عيار 30 ستم ، وتوصل إلى أن يطبق عليها كل قوانين علم البصريات : انتشار بخط مستقيم وانكسار ، انعكاس وتشكل صور بواسطة المرايا المحدوبة ، انحراف بواسطة موتور الصمغ ، وتكثيف ، وبالتالي اعتراضية التمرجات . ومكنه عمله المكون من شبكة من الخطوط المعدنية المتوازية من تبين : « إن ذبذبة فرل » كانت موازية للحقل الكهربائي المتولد من الموجة ، ولذبذبة ونومان - ماك كولاغ « Neumann - Mac Cullagh ذات الحقل المغناطيسي . وإذا فقد النزاع القديم حول الاتجاه الحقيقي للذبذبات الضوئية كل معناه . في هذه الأثناء حسب هرتز تفصيلاً الاشعاع الصادر عن رقاصه المستقيم - أو ما يسمى قطب هرتز المزدوج (1888. Die Kräfte) ومكنه هذا الحساب من توضيح تأويل كل تجاربه ، واستخدمه فيما بعد كأساس للعديد من البحوث ، وخاصة بحوث ماكس بلانك Max Planck حول « اشعاع الجسم الأسود » ، وخاصة بحوث المنظرين الكانتين حول اشعاع الذرات .

المفعول الكهرضوئي : لقد اكتشف هرتز فضلاً عن ذلك ، « وبشكل عابر » ظاهرة غير متوقعة تقيم رابطاً جديداً بين الاوبتيكا والكهرباء ، اهميته النظرية والعملية لم تفك تزايد هي : « تأثير الضوء فوق البنفسجي على التفريغ الكهربائي » أو كما نقول اليوم ، الأثر الكهرضوئي . هذا العمل ، الذي ظهر في حزيران 1887 ، هو نموذج في حسن الذكاء ، وروح الرصد والدقة العلمية

نظرية هرتز : إن نتائج هذا العمل الشامل من البحوث كانت حاسمة . ولم يعد بالإمكان الشك بأن نظرية مكسويل والنظرية الكهرمغناطيسية الضوئية لم تصبحا بعد الآن الأساس الراسخ تماماً في الكهرباء وفي البصريات . وبقيت هناك عقبتان : تخليص عمل الفيزيائي الاسكتلندي من كل الميكانيك التي استخدمت في البناء وفي استكمال النظرية بشكل يعطي توضيحاً عن الظاهرات التي لم يعد ممكناً التوصل إلى ادخالها في هذا الاطار العام ، وخاصة الالكتروديناميك وبصريات الأجسام المتحركة ثم تشتت الضوء .

وقام هرتز بأولى هذه المهمات ويقسم من المهمة الثانية . وعرض نظريته في مذكرتين ظهرتا سنة 1890 : « حول المعادلات الأساسية في الكتروديناميكية الأجسام الساكنة » ، ثم « حول المعادلات الأساسية في الأجسام المتحركة » (Ueber die Grund gleichun...) أما نهجه التبع والذي بقي كلاسيكياً فقد كان يدخل في باب الظاهرات والمسلمات . ويقترب هذا النهج من النهج الذي استعمله O. Heaviside في سلسلة من الأعمال السابقة (1885) والمعاصرة . ورفض هرتز كل نموذج ميكانيكي ، وقبل كمعطيات للتجربة المعادلات الأساسية التي قبل بها مكسويل ، وعندها تسعة (أن التعبير (7) و (7 bis) ، عن الطاقات ، ثم المعادلتين (8 bis) و (9) ، والتي تربط فيما بين الحقلين ،

والمعادلتين اللتين تعبران عن عدم وجود تفارق في أنابيب الحث المغناطيسي ، وتوافق في أنابيب الحث الكهربائي انطلاقاً من الشحنات الكهربائية ، وأخيراً الروابط الثلاثة حول الحث والحقول في العوازل والأجسام المغناطيسية ، وبين الحقل وزخم التيار في الموصلات ، هي علاقات تحدد الثابت العازل الكهربائي ، والترشيح المغناطيسي ثم التوصيلية) ، ويبرهن هرتز أن المعادلات الأساسية المذكورة لمكسويل تتوافق مع مبدأ حفظ الطاقة ، بعد أن استخدم قاعدة اقترحها بوانتنت Poynting سنة 1884 حول الوجود وحول التعبير عن دفع الطاقة المرتبط بوجود متزامن ، في ذات النقط ، لقضاء حقل كهربائي وحقل مغناطيسي . وأخيراً استنتج ، من ذلك ، النتائج وقارنها بوقائع التجربة . وأضاف :

« ليست كل صيغة معزولة يمكن في الوقت الحاضر إثباتها بالتجربة ، بل النظام بجممله فقط وفضلاً عن ذلك قلما يوجد سبيل آخر غير نظام المعادلات في الميكانيك العادي » .

إن الاتفاق مع التجربة بديم ، باستثناء نقطة مهمة : إن المعادلات التي تصف ، وفقاً لهذه النظرية الخصائص الكهرومغناطيسية في المادة ، والتي تستخدم فقط ثلاث ثوابت هي اوصيلية والترشيح المغناطيسي ثم الثابت العازلة الكهربائي ، لا يمكن أن تمثل بشكل مناسب احداثاً معقدة للغاية . وهذا النقص يرتبط بمفهوم جامد جداً للمنجح الظاهري أو الحدائي : باعتبار أن الحقول هي المقادير الأساسية التي تقاس فعلاً ، فقد مال هرتز والفيزيائيون من مدرسته إلى معالجة الشحنات والتيارات الكهربائية كمجرد فرائد في هذه الحقول : مناطق تلامي أو افتراق خطوط الحث الكهربائي ، وخطوط زويدة الحقل المغناطيسي .

مسألة « جر الأثير » : ودونما تشديد على الظاهرات . نقده في المغنطة ننظر إلى الثابتة العازلة في عازل ما . « في نظرية الأجسام الساكنة » أن هذه الثابتة هي عدد قابل للقياس بفعل تجربة ستاتية : ويحدد دفعة واحدة الخصائص الكهربائية والبصرية بشكل معين . ويتوجب ، وفقاً للمعادلة (10) أن تكون مسألة جر الأثير مساوية لمربع مؤثر الانكسار . ولما كان هذا المؤثر غير ثابت ويتعلق بطول الموجة : فالنظرية لا تعطي توضيحاً عن تشتت اللون (الكروماتيك) للضوء . ولكن حدث أمر بدا أكثر خطورة في أعين معاصري هرتز : فبالنسبة إلى الشوي الكهربائي « المتحرك » ، لا يوجد في نظريته إلا خياران : أو أن خطوط الحث الكهربائي مرتبطة بالجسم وتلحقه في نقله ، وهذه هي الفرضية الأكثر بداهة والتي اعتمدها والتي سميت باسم « الجبر الكامل للأثير » ؛ أو أن خطوط الحث الكهربائي تبقى جامدة .

إن التجربة لا تثبت أبداً من الفرضيتين : يوجد « جر حتمي » وقد افترضه فرنل منذ 1818 وافر بالنسبة إلى معدل « انجرار الأثير » معادلة دقيقة تثبت بصورة مباشرة سنة 1851 على يد فيزو Fizeau (انظر بهذا الشأن دراسة مدام م - آ . تونيلا Tonnelat الفصل 2 من هذا القسم) . وفي سنة 1903 قام إيخنولد Eichenwald بدراسة مباشرة لانجرار خطوط الحث بواسطة اسطوانات عازلة للكهرباء في حالة دوران سريع ، وثبتت في هذه الحالة من المعادلة التي اقترحها فرنل ، معتبراً أن الثابتة « تحمل محل مربع المؤثر فقط » .

تشتت الضوء والإنعكاس المعدني : أما نظرية تشتت الضوء فقد ارتدت شكلها الحديث عندما

اكتشف في رُو Le Roux في بخار اليود ظاهرة التشتت الشاذة (1862) وعندما اكتشف كوندت Kundt في سنة 1871 علاقة هذه الظاهرة بالامتصاص : فعلى مقربة من شريط الامتصاص ينحسج مؤشر الانحراف لتغيرات كبيرة . فمن جهة اللون البنفسجي يكون انحاء هذا التغير غير طبيعي ، ويكرر المؤشر مع طول الموجة . وبعد ذلك بقليل ، في سنة 1871 اكتشف سلمير Sellmeier أن الأمر يتعلق بمفعول تجاوي يمزى إلى وجود توترات خاصة في الجزيئات .

وتوضحت هذه النظرية الميكانيكية - التي سبق أن شعر بها مكسويل في سنة 1869 - من قبل هلمولتز في سنة 1875 . وبعد ذلك بعدة سنوات أي في سنة 1878 ، قام هـ.ي. لورنر بترجمة هذه النظرية إلى لغة الكتر ومغناطيسية . وعاد هلمولتز بصورة مستقلة إلى هذه المهمة سنة 1892 . وهنا نصل إلى لحظة مهمة في تاريخ النظرية الكهربائية : إن وجود تواترات خاصة ذاتية محددة بوضوح يقتضي بالضرورة أن توجد في الجزيئات وفي الذرات مرئانات كهربائية ذات قطبين ، أي جزيئات مادية لها ، بأن واحد ، شحنة وكتلة محدثان تماماً . وهنا يكمن أحد مصادر نظرية الالكترونات .

وتثبتت معادلة التشتت التي قال بها هلمولتز ، ابتداء من سنة 1895 ، من قبل روبنس Rubens ومعاوليه ، بواسطة عدد من البلورات الشفافة . ومن ثوابت هذه المعادلة مؤشر الانحراف في طول موجة لا نهائي ، وفي كل الحالات المدروسة ، اكتشف مربع هذا المؤشر - مع تحفظ بالنسبة إلى أخطاء التجربة - معادلاً للثابتة المعازلة الكهرباء (المعادلة رقم عشرة) . وهكذا وجدت نظرية مكسويل المصححة تأكيداً لها ثابتاً .

وعرصت صعوبة مماثلة بالنسبة إلى القوة العاكسة في المعادن . هذه القوة التي يجب أن تكون ، حسب رأي مكسويل وظيفة محددة تابعة للتوصيل . ولم تكن نظرية التشتت في المعادن معروفة في تلك الحفبة ولكن هذه الصعوبة حلتها التجربة : ففي سنة 1902 استخدم هاجن وروبنس الأشعة تحت الحمراء ذات الموجة الطويلة جداً ، وفي مجال أبعاد من كل شريط امتصاص انتقائي ، وبيناً في هذا المجال أن العلاقة التي عثر عليها مكسويل كانت تتفق تماماً مع الوقائع .

اختراع التلغراف بدون خط (TSF) : يبقى أن نقول بعض الكلمات عن إحدى النتائج الأكثر أهمية في تجارب هرتز وهي اختراع التلغراف بدون خط وتقدمه السريع : تاريخ معقد ، كما يحصل لكثير من التطورات التقنية ، والتي اثار مع الأسف ، وفي العديد من البلدان مشاعر وطنية . والواقع ، ورغم أن مكسويل وهرتز لم يمتتا بنقل الاشارات لمسافات بعيدة ، إلا أنها بدون منازع الايوان للتلغراف : فقد وضع احدهما الأسس النظرية ووضع الثاني القواعد التجريبية . اما الباقي فلم يكن إلا استكمالاً تقنياً رغم صعوبته في اغلب الأحيان .

ولكن من المؤكد أن رفاص هرتز كان ضعيف القوة كما كان مرئانه ذو الشراة ذات انتاج ضعيف . إن الانتاج الأقصى الذي بلغه هذا المذياع كان عشرين متراً ، دون أن يتكلف هرتز البحث عنه . وكان لا بد لنقل الرقيات لمسافة بعيدة من مرسلات أقوى ، ومن متلقيات أكثر حساسية .

ومشكلة المتلقي وجدت حلها أولاً بفضل ظاهرة كانت بخلاف القرن التاسع عشر ، موضوع العديد من البحوث المشتتة ، أنها ظاهرة عثر عليها من جديد في سنة 1890 ادوار برانيي Edward

Branly ، الذي ، وإن لم يتوصل إلى وضع نظرية صحيحة لها ، فقد اخضعها الدراسة متقدمة أدت في النهاية إلى صنع آلة تستعمل مباشرة من الناحية العملية ، هذه الآلة هي الأنبوب ختالة الحديد . وكان هناك بعض السابقين إليها ومنهم : في سنة 1835 مونك روزنشول (Munk af Rosenschoel) الذي مرّر تفريغات شحنة قنبلة ليد ، عبر أنبوب يتضمن حبيبات من القصدير ومن خليط الزئبق أو الكربون ، فلاحظ أن المقاومة الكهربائية في الأنبوب تنقص فجأة بعد كل تفريغة ، ثم تعود إلى حالتها الأولى المرتفعة بعد الخفض .

وفي سنة 1842 رصد ج. هنري J. Henry - دون أن يفهم الظاهرة - النقل البعيد ، عن طريق الحث ، للدفعات الكهربائية المحدثة بفعل شرارات قوية . وفي سنة 1856 أعلن الأخوان فارلي Varley في شهادة لها أن « المادة الموصلة ، بشكل مسحوق تقاوم مقاومة شديدة التيار ذا الضغط المعتدل ، ولكنها تقاوم مقاومة ضعيفة تياراً مرتفع التوتر » .

وفي سنة 1878 ، وقبل هرتز بعشر سنوات ، قام د. ي. هيوز Hughes بمحاولات من شأنها أنها كانت أكثر جدوى . فأنشأ البحوث التي جرت حول الميكروفون وضع هيوز في حلقة تتضمن بطارية وتلفوناً ، ميكروفوناً كربونياً مرة ، ومرة أخرى أنبوب زجاج يحتوي على حث معدني . وفي الحالتين لاحظ أن جهازه كان حساساً بالنسبة إلى تفريغة جرت على مسافة ما . وهكذا استطاع بواسطة الميكروفون التوصل إلى مجال مقداره 500 متر . وخطرت له الفكرة بأن الأمر يتعلق هنا بانتشار موجات ، ولكنه لم يعرف كيف يقدم الأدب على ذلك .

واعتقد بعض أعضاء الجمعية الملكية العظام الذين عرضت عليهم هذه التجارب أنها ليست إلا مغاميل حث عادية . وتحمل هيوز عجباً عن بحوثه مكتفياً بنشرها سنة 1899 .

وفي تشرين الثاني 1890 ، وفي مذكرة ضمن (التقارير) إلى أكاديمية العلوم « تغيرات التوصيل تحت المؤثرات الكهربائية النوعية » وصف أ. برانلي E. Branley قياسات المقاومة في أنبوب مملوء بالحث الناعم ، المعدني حيث يغطي الكسرودان . وعندما تنبث شرارة قرب هذا الأنبوب ، إما من آلة ثابتة وإما من بوبين حث تزداد التوصيلية فجأة بنسبة يمكن أن تكون من عيار واحد إلى ألف

« يتناقص المفعول عندما تزداد المسافة . ولكن هذا العمل يلحظ بسهولة . . . من بعد عدة أمتار . ويستعمل جسر وينستون Wheatstone ، استطعت أن ألحظ هذا الأثر على مسافة تزيد عن عشرين متراً ، في حين كان الجهاز الذي يولد الشرارات يعمل في قاعة مفصولة عن العلفانومتر بثلاث قاعات كبيرة . . . وجرى تعطيل تغير المقاومة تماماً ، عند ضرب الطاولة التي تحمل الأنبوب عدة ضربات قصيرة ولكن حادة » .

إن وصف الوقائع كان موضوعياً تماماً . ورغم اختلاف الظروف تماماً ، كان « المدى » هو ذاته كما هو في بعض تجارب هرتز - الذي لاحظ أيضاً شفافية الحواجز العازلة الحثية (مثلاً) أمام هذه الموجات . ولكن برانلي لم يشر إلى أية علاقة بين الظاهرتين : ولا نعتز عنده على أية إشارة إلى موجات كهربائية تنتشر في الفضاء ، لا في هذا النص ولا في مذكرة ثانية (كانون الثاني 1891) ، مخصصة لبدائل

أخرى من انبوب الحثانة ، ولا في مقالة نشرت سنة 1892 في مجلة الفيزياء تحت عنوان « التوصيل في الأجسام العازلة » وفي سنة 1895 فقط ، وبحسب معرفتي على الأقل أشار برانلي لأول مرة إلى تجارب هرتز وخلفائه ، في كلمة وردت في « مجلة الفيزياء » : « استعمال أنابيب الحثانة في دراسة التداخلات الكهربائية » .

وهذه هي البداية : « من مدة قريبة ، ومن أجل تكرار تجارب هرتز لجأ العديد من المؤلفين إلى أنابيب الحثانة التي عرفت في سنة 1890 وسنة 1891 تغييرات المقاومة فيها بواسطة التيارات ذات الضغط المرتفع » .

وتلت توضيحات حول كيفية استخدام هذه الأنابيب (بدون أية مطالبة بتفضيل بعضها على بعض في الاستخدام عند دراسة الموجات الهرتزية) ، وأخيراً انتقاد لبعض افكار لودج حول الظواهر المحدثة ضمن الأنبوب .

وفي سنة 1892 واثناء عرض تجارب برانلي Branly في أدنبره ، اشار ج. فوربس G. Forbes إلى امكانية استخدام انبوب الحثانة ككشاف للموجات الهرتزية . وانبرى العديد من الفيزيائيين إلى العمل في بريطانيا . وابتداء من 1893 تالتت النشرات في « الفيزيكال سوسيتي » في لندن ، وخاصة من قبل اوليفر لودج Oliver Lodge. وفي السنة التالية ادخل هذا الأخير تحسينات على الجهاز وسماه « المكشاف » « Cohéreur » وأدخله ضمن حلقة فيها جرس ، أو جهاز مورس مخصص لتسجيل الاشارات وزوده « بمضيق » Décohéreur ذي رجفات ، وفقاً للأسلوب الذي عينه برانلي Branly ، وأصبح هذا المتلقي بعد ذلك مهياً للدخول في الاستعمال الصناعي ، واستخدم في الصناعة حصراً ، بأشكال متنوعة حتى بدايات القرن العشرين . وفي اميركا خطرت للمهندس نقولا تسلا Tesla ، وأصله من دالماسيا أيضاً ، وبصورة باكورة فكرة استعمال الموجات الكهربائية والاشارات وحتى القوة الميكانيكية . ومن سنة 1890 إلى سنة 1893 قام بتجاربه وبحاضرات ناجحة . ولم يبق من اجهزته إلا بويون تسلا ، وهو محول ذو توتر مرتفع . وخطرت له أيضاً فكرة الكشاف المغناطيسي . ولكن هذا الجهاز لم يتحقق إلا في سنة 1897 من قبل ارنست رودر فورد Rutherford ، وكان أول إنتاج تجريبي لديه .

ويجب أن نضيف أيضاً أنه في سنة 1890 ، وفي مجال بحوث العلم المحض ، بنى هـ. روبنس H. Rubens وريتزر Ritter لاقطاً « بولومترياً » حساساً جداً يقاس زخم الموجات فيه بواسطة التسخين الذي تحدثه هذه الموجات في موصل رقيق للغاية .

إن تاريخ التلغراف فيها بعد كان أكثر غموضاً . في سنة 1894 اهتم العالم الروسي پوپوف Popov بالتفريغات الجوية حيث شك بوجود تآرجح فيها ، كما حصل لأخريين قبله . وللتبّت من هذه الفرضية ، خطرت له فكرة دراستها من بعد بواسطة كشاف من غط برانلي - لودج - Branly Lodge ، ولكي يزيد حساسية هذا الكشاف ربطه بأنبوب طويل معدني عامودي أي هوائي (آنتين) . وإذا إن أول من استخدم الهوائي المتلقي هو پوپوف . وفيها بعد ، وربما بعد 1896 ، قام بتجاربه نقل من بعيد لمسافة تتراوح بين كيلومتر وخمسة كيلومترات . وفي نفس الحقبة تقريباً كان ماركوني Marconi يجري في السر بحثاً مماثلة ونشر نتائجها الأولى في

سنة 1896 ، وتابعها بمثابة طيلة سنوات من اجل التوصل إلى انجازات صناعية . ويبدو أنه كان الأول الذي استعمل هوائيات مرسله مرتفعة القوة . وهكذا استطاع ان يزيد في قوة الموجات وطولها من عيار كيلومتر ، وبالتالي توسيع المدى . فبلغ هذا الأخير 10 كلم سنة 1896 ، و 70 كلم في سنة 1897 ، وفي سنة 1901 تم وصل المسافة بين أوروبا وأميركا .

XII - الايونات في الالكتروليت (المحاليل السائلة) وفي الغازات

تطور الأفكار حول ماهية الكهرباء

لو أن فراداي كان أقل حذراً وخشية من « صياغة الجمل الذرية » لكان اكتشف منذ سنة 1833 الشحنة الكهربائية البدائية . والأحداث التي رصدتها ، والقوانين التي اكتشفها ، كان يفترض بها بالضرورة ان توصل خلفاءه إليها . ولكن المسألة لم تكن ناصجة بعد .

تأويل ظاهرات الالكتروليت : ومن جهة أخرى افترض فراداي ان تفارق الجزيئات أو انشطارها إلى ايونات لا يحدث إلا بعد تكثيف مسبق بفعل الحقل الكهربائي . ولكن هذه الفرضية لم تكن جذيرة بالحفظ . وهذا ما أشار إليه كلوزيوس Clausius سنة 1857 : أن صلاحية قانون أوهم Ohm ، في عمليات التحليل (الكتروليت) تضطربا إلى افتراض وجود ايونات حرة غير محبذة التكثيف ، قبل تطبيق أي حقل . إن الحقل الكهربائي يقدم فقط القوة التي تتغلب على مقاومة السائل ، فتتمر فيه ، باتجاه معاكس ، نحو الالكترودات أيونات ذات اشارات مختلفة .

وتوضحت قوانين هذه الحركة في سنة 1863 من قبل هيتورف Hittorf الذي استعاد بشكل منهجي المعايير الكيميائية التي استعملها فراداي ، في الجيوب الأنودية والكاتودية ، فبين أن الايونات المختلفة الإشارة لا تتجول عموماً بنفس السرعة .

واستنتج من تقلبات التركيزات المكتشفة بواسطة التحليلات التي قام بها ، واستنتج ، بتحليل عقلي بسيط ، اعداد نقل الايونات من النوعين ، أي انه استنتج اجمالاً النسبة $u+/u-$ من تحركاتها أو سرعاتها ضمن حقل معتبر وحدة . هذه العلاقة ، التي ادت إليها التجربة يمكن أن تختلف جداً عن الوحدة . وفي هذا اعتراض خطير على نظرية فير .

وبقيت المسألة على حالها حتى سنة 1874 ، فقام أ.و. كوهلروش E.W.Kohlrausch عندئذ - بواسطة جسر كوهلروش ، وهو آلة ظلت متداولة الاستعمال - بتحقيق قياسات منهجية حول توصيل الالكتروليت ، تبعاً لدرجة تركيزها .

وأدخل فكرة التوصيلية الجزيئية ذات الرمز $(\lambda = \sigma/c)$ الحاصل بتقسيم درجة التوصيل (σ) على الكثافة أو التركيز الحزني (c) (عدد المول في اللتر) وبين أن (λ) تتجه نحو حد محدد عندما يصبح التسيل لا متناهياً والانشقاق كاملاً . إن قيمة هذا الحد تعطي مجموع $(u_+ + u_-)$ الحركتين . من هذه النتائج التي نشرت من سنة 1876 حتى سنة 1879 ، وكذلك من النتائج التي توصل إليها هيتورف Hittorf نستخلص القيم الحقيقية للحركيات ، وهي الطرح الجزئي المهم . إن الرصد المباشر لهجرة الأيونات الملونة أثناء التحليل (الكتروليز) ، يثبت تماماً الاعداد المحسوبة على هذا

الشكل والتي هي من عبار أجزاء من مئة من الملم في الثانية الواحدة ضمن حقل فولت في الستم ادخال الذرية في الكهرباء : من جعل الأحداث المكتشفة بفعل التجربة كان من الواجب استخراج فكرة ، على الأقل في التحليل (الكتروليز) ، تشكل الشحنات الكهربائية كجزيئات حقيقية مادية . وقد دعمت هذه الفكرة في سنة 1874 ، في الجمعية البريطانية ونشرت في سنة 1881 من قبل ج . جونستون ستوني G. Johnstone Stoney : فأثبت وجود وحدة طبيعية للشحنة الكهربائية التي يحملها الأيون ذو الشحنة الواحدة الوحيد التكافؤ (مونو فالان) ، وحسب هذه الشحنة البدائية مستعملاً معطيات قليلة الوضوح كانت متيرة في ذلك الزمن حول عدد أفوغادرو Avogadro ، وتوصل إلى قيمة أقل بعشرين مرة . وفي سنة 1891 اطلق على هذه الشحنة الأولية اسم « الكترون » .

في محاضرة شهيرة اجريت في سنة 1881 أمام الجمعية الكيميائية في لندن بين هلمولتز بقوة امام الفيزيائيين والكيميائيين بانه من الواجب اعطاء الكهرباء ، كما المادة ، بنية ذرية . وتناولت هذه المحاضرة « تطور مفاهيم فردادي حول الكهرباء . وأشارت المحاضرة إلى السيلين اللذين فتحها في الكهرباء المجرب الانكليزي الكبير : نظرية الحقول التي وضعها مكسويل والنظرية الذرية حول الموالمع الكهربائية والتي كانت ما تزال في بداياتها . قال هلمولتز : « إذا قبلنا الفرضية القائلة بأن المواد الأولية تتألف من ذرات ، فلا يمكننا تجنب الاستنتاج بان الكهرباء سلبية كانت أم ايجابية ، تقسم إلى جزئيات أولية محددة تتصرف وكأنها ذرات من الكهرباء » .

التقدم اللاحق في نظرية الالكتروليت : سوف تفرض هذه الأفكار نفسها وتتوضح بفضل البحوث حول توصيل الكهرباء عبر الغازات التي سوف نلخص قصتها بعد أن نكون قد تبعنا حتى نهاية القرن التاسع عشر تطور نظرية الالكتروليت .

ووقع اكتشاف تجريبي مهم على يد راولت Raoult في سنة 1882 - 1883 . بين هذا الفيزيائي أن انخفاض نقطة التجمد في سائل ما يتضمن جسماً مذاباً ، هذا الانخفاض يتناسب مع عدد الجزيئات (أو المولات moles) في هذا السائل ، ضمن « وحدة الحجم » ، ومن هنا ينتج تحديد جديد للكتلات الجزيئية . ولاحظ أيضاً أن الالكتروليتات القوية [أو السوائل القوية] ، مثل الأملاح المذابة في الماء ، تحدث انخفاضاً كبيراً بشكل غير معهود بمقدار ما تتفكك . وعثر راولت أيضاً على علاقة وثيقة بين هذا الخروج وبين عدد وتكافؤ الأيونات المحذقة بفعل جزيء الكتروليت . ثم وسع فيها بعد هذه القوانين فشملت ظاهرات أخرى مثل ضغط البخار والغليان (حول هذا الموضوع يراجع بحث ج . آلار في الفصل 6 من هذا القسم) .

وفي سنة 1884 ربط فانت هوف Van't Hoff ، في دراسته حول « الديناميكية الكيميائية » قوانين راولت بوجود ضغط امتصاصي « أسموتيك » ، في المحلولات ، ضغط يخفض ، عندما يكون التذويب كبيراً ، لقوانين الغازات : قوانين بويل Boyle ، وغاي - لوساك Gay - Lussac ، وأفوغادرو . وفي سنة 1887 أوجد سفانت أرهينيوس Svante Arrhenius نظرية التذويب الألكتروليكي ، فأوضح وجهات نظر كوهلرولش Kohlrausch ، واستنتج قياسات نقاط الذوبان

والتوصيلية، ودرجات تفكك الجزيئات المذوبة (وهو تفكك متقدم في حالة الألكتروليت القوي). وقد أثارت نظرية أرهينيوس العديد من الاعتراضات من قبل الكيميائيين وحتى الفيزيائيين. فقد كان من غير المفهوم كيف يمكن أن توجد في حالة الذوبان أيونات حرة من العلامتين الإيجابية والسلبية، هذه الأيونات التي يتألف بعضها مع بعض، والتي يجب إعطاؤها خصائص تختلف تماماً عن خصائص الذرات المقابلة، في الحالة الغازية.

ورغم ذلك فقد فرضت نظرية أرهينيوس نفسها بصورة تدريجية بفضل أعمال ويلهلم أوستولد Ostwald ولتر نرنست Walthor Nernst. وكان هذا تطور الفيزياء الكيميائية الحديث - الذي احتفظ بالجوهري من أفكار أرهينيوس، مع تصحيح تقديراته لدرجات الذوبان، مع مراعاة تفاعلات كروموس بين الأيونات. لن نحفظ هنا إلا بتحليل مهم قدمه نرنست سنة 1889، وطق فيما بعد على الأيونات الغازية - حطرت لنرنست فكرة مقارنة حركة الأيونات تحت تأثير القوى ذات المنشأ الامتصاصي (الأوسموتيك)، أي انتشارها في محلول يسود فيه مذاب مركز، ومقارنتها بحركة يعطيها إياها حقل كهربائي خارجي. ولم يصعب عليه تبين أن علاقة الحركة (u) بمعامل الانتشار (D) تحقق المعادلة: $D = RT \cdot Q$ حيث تعتبر (Q) هي الشحنة المحمولة بالأيون غرام ($Q = zF$) في حالة الألكتروليتات، F هي الفراداي و z تكافؤ الأيون و R هي ثابتة الغازات و T هي درجة الحرارة المطلقة.

البطاريات القابلة للقلب : الظواهر الكهربية الشعرية : إن تقدم معارفنا حول الألكتروليت جر وراءه تطوراً موازياً لأفكارنا حول القوى الكهربية المحركة. من وجهة نظر عامة أولاً بين كل من جوزيا ويلار جيبس Josiah Willard Gibbs (1839 - 1903) في القسم الثاني، الذي ظهر سنة 1878، من بحثه الأساسي «التوازن بين الأنظمة المتعارفة» ثم منفصلاً عنه، هلمولتز، في سنة 1882: أن القوة الكهربية المحركة في بطارية قابلة للقلب تقيس «الطاقة الحرة»، في التفاعل الذي يحصل بداخلها، ولا تقيس طاقتها كما كان يظن جاسم طومسون James Thomson وبرتيلو Berthelot. والفرق بين الطاقة الحرة والطاقة مرتبط بتنوع القوة الكهربية المحركة مع درجة الحرارة، وفقاً للمعادلة الترموديناميكية التي وضعها جيبس وهلمولتز Gibbs - Helmholtz والتي ثبتت بالتجربة سنة 1886.

أما أوالية الطاهرات التي تحرك الكهرباء، وخاصة ما يتعلق بدور مختلف أنواع التماس بين الأوساط المختلفة، فقد كان موضوع العديد من البحوث ومن النقاشات الحادة.

ومنذ 1853 اقترح هلمولتز في نظريته حول «الطبقات المزدوجة» الكهربية - المشابهة للدرجات المغناطيسية - صورة كان من شأنها حسن توضيح مفاعيل التماس: فعبّر طرقي سطح يفصل بين جسمين مختلفين تتراكم شحنات ذات اشارتين مختلفتين، كما يحدث فوق هيكليات مكثف تعادل سماكته مقياس المسافات الجزيئية. ويرتبط بهذه الطبقة المزدوجة بالضرورة فارق في الضغط عند نقطة التماس. وطوّر هلمولتز هذه النظرية ووسع تطبيقاتها في سنة 1879 في مقالة له بعنوان: «دراسة حول الكهرباء».

وقبل ذلك بعدة سنوات أي في سنة 1873 قام غبريل ليبمان Gabriel Lippmann بدراسة كاملة ووافية للمظاهرات الكهربائية الشعرية الحاصلة في التغيرات التي يتلقاها التوتر السطحي في كاتود من الزئبق مغطس في محلول خفيف من الأسيد سولفيريك ، عندما تغيّر حالته الاستقطابية بقوة كهربائية بحركة خارجية .

هذه المفاعيل القابلة للقلب والتي لم تكن ملحوظة كثيراً في سنة 1870 من قبل فارلي Varley ، غدت إحدى وسائلنا القوية في الاستقصاء عن بنية الطبقات المزدوجة معدن - الكتروليت ، وهي رئيسية بالنسبة للطاقة التي تقدمها البطاريات . ونتج عن عمل ليبمان ، ليس فقط ميزانه الكهربائي الشعري [الكترولتر] وهو آلة ما تزال مفيدة ، بل صدرت عنه أيضاً طرق مهمة في فيزياء الكيمياء : مثل طريقة الالكترود ذي النقط ، ومثل التحليل الاستقطابي الخ . وساد الظن لفترة من الزمن بأن المظاهرات الكهربائية الشعرية تساعدنا على حل مسألة كانت ما تزال مطروحة منذ البحوث التي قام بها فولتا : وهي قياس الفرق في زخم التماس بين اجسام مختلفة . ولكن في سنة 1878 بين جيبس Gibbs أن هذا القياس مستحيل دائماً وأنه عارٍ عن المعنى .

في سنة 1877 رسم هلمولتز نظرية حرارية ديناميكية للبطاريات ذات التركيز ، وفيها لا يتدخل التماس معدن - الكتروليت ، بل فوارق التركيز بين محلولين في ذات الالكتروليت . وقد استكملت هذه النظرية الناقصة في سنة 1899 بفضل نرنست Nernst الذي استطاع أن يقدر - بفضل مفاهيم جديدة وضعها فانت هوف وارهينوس - عمل « التمدد الامتصاصي الاوسموتيكي » الذي يحدّثه الالكتروليت عندما ينتقل من محلول إلى آخر . ووسع نرنست مجال تطبيق هذه الأفكار ، حتى أنه اقترح نظرية عامة ، شكلية قليلاً ، حول البطاريات القابلة للقلب ، مرتكزة على صورة امتصاصية (أو سموتيكية) وخاصة على صورة « ضغط المحلول » (من معدن في سائل مثلاً) وهو ضغط يشبه ضغط البخار .

التفريغات الكهربائية في الغازات النادرة والأشعة الكاثودية : في حين أن تطور افكارنا حول الالكتروليتات يمكن أن يعتبر تطوراً طبيعياً لملاحظات فرادي الأساسية ، كان تقدم معارفنا حول توصيل الكهرباء من خلال الغازات بداية بطيئة لثورة .

ومع ذلك فإن البحوث حول هذه المظاهرات كانت قديمة جداً . ولكنها اقتصررت على ملاحظات معزولة . نذكر منها ملاحظات جيلبرت ، ودوفاي ، وفرنكلين ، والأب نولييه ، وخاصة ملاحظات هوكسي وواتسون حول التفريغ في الهواء النادر .

وخصص فرادي بنفسه سلسلتين ، « في بحوثه التجريبية » للتفريغات الكهربائية في الفراغ (1838) . ورصد مظاهرها المتنوعة مثل اللمعة السلبية ، ومثل الفضاء المظلم لفرادي ، ومثل العامود الايجابي . ولم يمكنه الفراغ العادي الذي اوصلته إليه ماصاته من الذهاب بعيداً ولكنه استشعر ان « النتائج المتعلقة بمختلف شروط التفريغ الايجابي والسليبي سوف يكون لها على فلسفة العلم الكهربائي تأثير اكبر مما نتصوره في وقتنا الحاضر » .

وفي سنة 1858 اكتشف ج. بلوكر J. Plücker « في بون » الضوء الأخضر الجميل الضامض ،

المحدث بفعل التفريغات ضمن فراغ قوي نوعاً ما : وهذا ما توجبت تسميته فيما بعد « الأشعة الكاثودية ». وشاهد هذه اللمعة تنتقل تحت تأثير المغناطيس . وفي سنة 1869 عاد تلميذه هيتورف Hittorf - الذي درس مدة عشر سنوات ، من قبل ، هجرة الايونات في السوائل - إلى هذه التجارب واكملها :

ضمن شروط مناسبة حصل على « ضمة من الأشعة البادية التوازي . . . احدثت في كل مكان نلتقي فيه الزجاج ضوءاً أخضر متاججاً . . . » . وقذفت الحواجز الموضوعة في طريق هذه الضمة ظلالاً واضحة . إن كل شعاع « بسلك (ضمن حقل مغناطيسي) سلوك تيار خطي متماهي الدقة مستقيم ، بدون وزن ، مرتبط في طرفه المجاور بالكاثود » .

وبعد ذلك بعدة سنوات أي في سنة 1876 بين اوجين غولدستين Eugen Goldstein بأن صدور هذه الأشعة عن الكاثود لا يتم بشكل انتشاري - مثل انتشار الضوء - بل في الاتجاه العادي فقط تقريباً . ونضيف أنه اكتشف في سنة 1886 بعد استعمال كاثود مقبب ، الأشعة الانجيبية التي ظلت لمدة طويلة تسمى « الأشعة القنوات » أو اشعة غولدستين . وظلت هذه الأشعة تدرس بذات الأهمية ، منذ السنوات الأولى في قرنا إلى أن تم صنع سيكتروغرافات الكتل .

وبعد 1871 بين ك. فارلي Varley بأن كل خصائص الأشعة الكاثودية تبدو غير مفهومة إذا افترضنا أنها حبيبات مادية تحمل شحنات سلبية مقدوفة بخط مستقيم من قبل الحقل الكهربائي الذي يسود قرب الكاثود .

وأجريت تجارب واضحة تماماً وبلرعة في سنة 1879 . من قبل وليم كروكس Crookes الذي اعطى لأنايب الفراغ التي ما تزال تحمل اسمه شكلاً دام لها مدة طويلة . وطور كروكس افكار فارلي Varley واثبت أن الأشعة الكاثودية هي « مادة مشعة » في حالة رابعة فوق الغازية . ولكنه لم يفكر إلا بذرات عادية مشحونة سلباً .

وأوضح أ. ريكبي E. Riecke هذه النظرية . فحسب المسارات ضمن حقل مغناطيسي لحبيبة تحمل شحنة كهربائية وكتلة معينتين وبيّن أن هاتين يجب أن تكونا دوائر أو حلزونات محورها مواز للحقل (1881) . وفي نفس السنة قام ج. ج. طومسون بدراسات مشابهة سوف نعود إليها .

ورغم ذلك فمسألة طبيعة الأشعة الكاثودية كانت بعيدة عن الحل . فالفيزيائيون من المدرسة الألمانية لم يقبلوا عموماً بالنظرية الجسيمية . وفي سنة 1883 قام هرتز ، من أجل حسم المسألة بلسلة مهمة من التجارب (فسرشوش اويسر دي غليميتلادن Versuche über die Glimmentladung) واستعمل بطارية فيها ألف حاشفة من الرصاص - صنعها بنفسه « كما يصنع العامل في الفبركة ، مكرراً كل حركة ألف مرة » - وبين في البداية أن التفريغ في الفراغ هو عملية مستمرة ، واعتقد أنه يقرر « أن الأشعة الكاثودية ليست إلا ظاهرة ترافق التفريغ » ، وأخيراً سعى إلى رؤية ان هذه الأشعة لها خصائص كهربائية ستائية وتلقاها في البداية ضمن أسطوانة فسرادي خارجاً عن انبوب التفريغات ، دون أن يجمع فيها أية شحنة قابلة للقياس ، ثم حاول عبثاً أن يعرفها عن مسارها بفعل حقل كهربائي داخل .

وفي القريب العاجل سوف يشرح جان برين Jean Perrin وج.ج. تومسون اسباب هذا الفشل المزدوج ومنها الشحنات التوضيحية المترامية على حواجز الزجاج ، ثم الفراغ غير الكافي وتأثير الغاز بين الالكترونات الداخلية المولدة للحقل . ولكن هذه التجارب قادت هرتز إلى الاستنتاج « بأن هذه الأشعة الكاثودية تختلف من حيث كهربتها . ومن بين الظواهر المعروفة يكون الضوء هو الأقرب إليها . وأن الدوران المغناطيسي لسطح تكثيف هذا الضوء هو المثل لانحراف الأشعة الكاثودية بفعل المغناطيس » .

إن هذه النظرية التي كانت أيضاً نظرية غولدستين ، بدت مبنية باكتشاف قام به هرتز سنة 1892 : وهو : شفافية الأوراق المعدنية الرقيقة بالنسبة إلى الأشعة الكاثودية . ولم يكن بالإمكان في ذلك الوقت ، تصور امكانية اجتياز هذه الجزئيات السريعة نوعاً ما للمادة الصلبة . في سنة 1894 قام ف. لينار Ph. Lenard بتلميذ هرتز ، بتمرير الأشعة الكاثودية من الفراغ إلى الهواء عبر شباك من المعدن الرقيق . في هذه الأثناء تراكمت الوقائع . في سنة 1882 قادت التجارب حول توصيلية الغازات المنبثقة عن اللهب ، و. جيز إلى توسيع الكتروليت (تحليل) الغازات لتشمل فرضية التأين .

وبعد ذلك بقليل ، واثناء البحوث التي جرت في مانشستر بين 1884 و 1890 ، وتناولت الهواء في حالة الضغط الجوي كما تناولت انابيب كروكس اوضح ارثر شوستر Schuster فرضيات فاليري وجيز Giese وكَوْن منها كلاً متماسكاً .

كتب يقول : « اعرف انني حين اتكلم عن الكهرباء الايجابية والسلبية وكأنها مادة لها وجود منفصل ، اكون قد تقدمت ضد ما يسمونه بالأراء الحديثة حول الكهرباء » أي ضد آراء هرتز وتلاميذه الذين يميلون إلى اعتبار الشحنات والتيارات الكهربائية وكأنها مفاهيم « ثانوية » .

XIII - بدايات نظرية الالكترونات

ج.ج. تومسون وبدايات الديناميك الالكتروني : منذ بداية عهده في سنة 1881 تقبيل ج.ج. تومسون (1856 - 1940)، بعد أن لفته تجارب غولدستين وكروكس ، فكرة أن في أنابيب كروكس يوجد « جسيمات من المادة لها شحنة كهربائية ضخمة وتحرك بسرعات كبيرة جداً وأن هذه الجسيمات تشكل الحدث الأساسي » . وبعد خمس عشرة سنة أجرى حول هذا الموضوع تجارب حاسمة .

واكتفى حينئذٍ بوضع نظرية حول الأثر الكهربائي لهذه الجسيمات ، كما اكتفى بحساب حقوقها ، والقوة المغناطيسية التي تتلقاها . . . متخذاً كأساس نظرية مكسويل التي تقول أن التغيرات في التثقل الكهربائي ضمن العازل تحدث مفاعيل تشبه مفاعيل التيارات العادية . وتعلق الأمر أساساً بمسألة « التيار المفتوح » . ربما كان بالإمكان حصاً اشمال هذه الحالة بقانون بيوت وسافارت (1) وعكسه (2). وبالفعل نرى بوضوح سنداٌ لتعريف الزخم (i) في تيار ما، ان شحنة (e) عمركة بسرعة v تشكل عنصر تيار حل حراري $i \delta s = e V (Convection)$.

إن المعادلة (1) تتخذ عندئذٍ ، بالترميز الاتحادي ، شكل (11)

حيث تمثل (D) التنقل الكهربائي المحدث من مسافة (r)، سندا لقانون كولومب، بفعل الشحنة (e)؛ وتمثل \wedge عملية الجداء التوجيهي. اما المعادلة (2) فكتب، إذا راكنا حقلاً كهربائياً (E) فوق الحقل المغناطيسي (H)، أو بصورة أولى فوق الحث الموافق (B)، وفقاً للشكل التالي :

$$(12) F = e(E + v \wedge B)$$

في الواقع تبدو هاتان الصيغتان صحيحتين، باستثناء الشئ الثاني (الوسط) من (12) الذي ليس إلا تقريباً، يصلح فقط عندما تكون (v) صغيرة بالنسبة إلى سرعة الضوء (c). ولكن قانون بيوت وسافارت وعكسه لم يتضح إلا بالنسبة لعناصر في تيارات مغلقة. وإذا فالاستنتاج الذي توصلنا إليه فيه الكثير من المخاطرة ويتوجب العودة إلى المسألة من وجهة نظر مكسويل. وهذا الأمر قام به ج.ج. تومسون في المحاولة الأولى هذه حول ديناميكية الالكترونات. واصيب حسابه بخطأ صحح في ذات السنة من قبل ج. ف. فيتزجيرالد Fitzgerald. في سنة 1888 - 1889، عاد هيفيسايد Heaviside إلى نفس المسألة بشكل اعم، ضمن عمل رائع حيث جرب على سرعات قد تصل إلى سرعة الضوء. وفيها بين أنه في حالات السرعات الكبرى جداً تبقى خطوط القوة الكهربائية نصف قطرية ولكنها تنحني إلى التجمع - مع الخطوط المغناطيسية - ضمن السطح الاستوائي العمودي على السرعة.

إن شكل المعادلات (11) و (12) بالذات أوحى به إلى ج. ج. تومسون نظرية كان هدفها تفسير المغايل الكهرمغناطيسية « بحركة انابيب القوة »، وقد وسعها في كتابه « بحوث حديثة في الكهرباء والمغناطيسية » (1893).

ونضيف أنه فهم منذ 1881 أن التاراع الايجابي أو السليبي الذي يصبب الأجسام المكهربة يجب أن يغير في كل الفضاء زخها الموجة وبالتالي يجب أن يولد موجات كهربائية مغناطيسية. وكان يظن - خطأ - أنه يفسر هكذا التشيع الأخضر في الزجاج المضروب باشعة كاثودية. ولكن الفكرة العامة كانت سليمة ومثمرة.

عمل لورنتز ونظرية الالكترونات : كانت وجهة نظرهندريك انطون لورنتز (1853 - 1928) اعم من وجهة نظر الفيزيائيين من المدرسة البريطانية. وقد ناقش في عمله الأول، وهي اطروحة للدكتوراه حول « انعكاس الضوء وانحرافه » (1875) مختلف النظريات حول البصريات : « تقودنا دراسة الانعكاس والانحراف إلى الاستنتاج العام بأن نظرية مكسويل يجب تفضيلها على نظرية التاراجج القديمة ».

ولكنه تثبت من المصاعب القائمة ووضع للمستقبل برنامج بحوث حقيقي : « فلنفكر بظاهرة التشتت اللوني، وبدوران سطح التكثيف، وبسلافة هذه المغايل البينية الجزيئية. وفيما بعد لنفكر بالقوى الميكانيكية التي ربما تلعب دوراً في الظواهر الضوئية... ولنفكر أيضاً بالتأثيرات على الضوء التي تحدثها القوى الخارجية وحركة المكان. ثم نفكر أخيراً بظواهر البث والامتصاص ثم بالحرارة المشعة... إذا كان صحيحاً أن الضوء والحرارة المشعة هي ذبذبات كهربائية، فمن الطبيعي الافتراض بأن جزيئات الأجسام التي تولد مثل هذه الذبذبات في الوسط المجاور هي أيضاً مركز تاراججات كهربائية... إن هذا التصور الذي لم يكن جديداً والذي استعار من نظرية الكهرمغناطيسية درجة

عالية من الاحتمال ، يبدو لي مشمراً . . . ونظرية مكسويل التي لم تصل بعد إلى شكلها النهائي تتطلب توضيح العديد من النقاط الغامضة التي لا يمكن اليوم تقديم تفسير لها إلا بصورة ناقصة . وتضمنت مذكرة في سنة 1878 عنواناً : (Ueber die Beziehung Zwischen . . .) العلاقة الشهيرة المسماة علاقة لورنتز - لورنز Lorentz - Lorenz والتي تصف « الثابت الانحرافي » بصورة مستقلة عن الثقل النوعي وعن الحالة الفيزيائية في الجسم المدروس . وطور لورنتز ، بهذا الشأن ، ولأول مرة ، النظرية الكهرومغناطيسية حول التشتت .

ونصّل إليها إن اعتمدنا الفرضية القائلة بأنه - ضمن الجزئيء ، وحالما يحصل عزم كهربائي محفوز ، تتحرك كتلة بذات الوقت ، أي أن الشحنات الكهربائية مرتبطة بجسيمات ذات حجم معين : وفي هذا نواة لنظرية الالكترونات ، التي أوصل إليها بالضرورة ، « الترجمة - باللفظة الكهرومغناطيسية - للتفسير الذي اقترحه سلميير Sellmeier ، وبوسينسك Boussinesq وهلمولتز Helmholtz » .

وفي سنة 1887 خصص لورنتز دراسة خاصة للزيفان في الضوء ، وناقش نظرية فرنل Fresnel حول الأثير الجامد جزئياً في عمله المسمى « تأثير حركة الأرض على الظاهرات الضوئية » (افترض فرنل أنه - ضمن المادة - يكون لجزء من الأثير نفس الثقل النوعي الذي يكون له في الفراغ ويبقى جامداً . أما فائض الأثير - وهو الزائد بالنسبة إلى الفراغ - فمرتبط بالجزئيات ، وتجره الأجسام المتحركة . وإن هذه الفرضية « تلتصق » بوقائع قبلها فرنل . وهي تتوافق بصورة شبه كاملة تقريباً - وبشكل ميكانيكي قابل للمقاس - مع النظرية الكهرومغناطيسية الأكثر منها عقلانية والتي وضعها لورنتز فيما بعد) .

واتخذت نظرية لورنتز شكلها النهائي في مذكرتين أساسيتين : « نظرية مكسويل وتطبيقاتها على الأجسام المتحركة » (1892) ثم (Versuch einer Theorie der elektrischen) (1895) . وهي « ترتكز على فكرة المادة القابلة للوزن ، المنفتحة تماماً على الأثير والتي يمكنها التنقل دون أن تعطي هذا الأثير أية حركة . . . أما الجسيمات المشحونة فتعتبر كمادة قابلة للوزن يمكن أن تطبق عليها قوى » .

ويقول آخر افترض لورنتز فرضيتين أساسيتين :

1 - إن الأثير هو دائماً غير متحرك وفي كل مكان . إلا أنه ليس مائئاً - أو جامداً - مزوداً بالصفات المادية مثل الثقل النوعي والمطاطية . إنه الفضاء الفراغ الذي وصفت خصائصه الكهرومغناطيسية الخالصة في معادلات مكسويل المعتبرة كمسلمات .

2 - إن الكهرباء تتكون من جزئيات مادية تعمل شحنة كهربائية ولها كتلة محددة أي الالكترونات (أو الأيونات) . إن التيارات الكهربائية الحائلة - والتي لم يكن لها عند هرتز إلا معنى شبه مجرد - هي دائماً تيارات موجبة . إنما تجب الإشارة بأنه لا الشحنة ، ولا الكتلة في الالكترونات قد حددنا في مذكرتي لورنتز الأولين . الأهمية كانت فقط للبنية الذرية ، وللحقيقة المادية في الكهرباء .

بعد قبول هذه الفرضيات ، طور لورنتز منطقياً نتائجها . وفي عمله لسنة 1892 ، ولكي يقلل

من عدد المسلمات المستقلة ، ادخل - كما فعل مكسويل - مبادئ الميكانيك (مبدأ المأثر) . وفي عمله سنة 1895 ، اعتمد الطريقة المسلمانية الخالصة التي اعتمدها هرتز ، فاضاف إلى المعادلات الأساسية التي قال بها هذا الأخير ، المعادلة (12) التي تعطي قيمة ما نسميه اليوم « قوة لورنتز » .

نجاح نظرية لورنتز وحدود صلاحيتها : إن نظرية الالكترونات المقررة على هذا الشكل ، توضح تقريباً كل الظواهر الكهربية والمغناطيسية والبصرية التي كانت معروفة في ذلك الوقت . وطورت هذه النظرية بكل تفصيلاتها في السنوات التي عقيت (1895 - 1905) (توصيلية المعادن ، والمغناطيسية) . وبقيت بناءً كلاسيكياً ، أساساً لكل نظرياتنا الحديثة مثل النسبية والكانتا ، التي اكملتھا أكثر مما صححتها . واقتضت هذه النظرية بالطبع نظرية حول التشتت التلويحي للضوء والتي كانت في أساس بحوث لورنتز . ولكن الشيء الذي ربما انجح هذه النظرية بشكل باهر ، ربما كان تفسيرها « للانجرار الجزئي لموجات الضوء بفعل المادة » .

إن هذا التفسير يقدم بشكلين : الأول يقوم على تحليل تفصيلي للظواهر . ويمكن إيجازاً باختصار كل بما يلي : بالنسبة إلى هـ.آ. لورنتز تعتبر تيارات التنقل في العازلات - وهي اجسام شفافة - مجموع تيارين جزئيين : تيار التوجيه المرتبط بتغيرات مكان الالكترونات في الجزيئات ذات الكثيف المتغير. ثم من جهة أخرى التيار التنقلي الذاتي الحاصل في الأثير والذي يغشي الجزيئات. إن كثافة العازلات مرتبطة بالمادة وتشارك في حركتها تاركة في مكانه الأثير . والفصول التي يتضمنها : أن الجزء من الموجات الضوئية - أو الحث الكهربي - المجرور بالاجسام المتحركة ، يتطابق تماماً مع كثافة جزيئاتها .

ويعطي الحساب الدقيق « معامل جر » يساوي : $(1 - 1/n^2)$ أو $(1 - 1/n^4)$ سنداً للمعادلة (10) لمكسويل ، أي القيمة التي قبل بها فرنل .

وهكذا نفسر تجارب فيزو وأينولدوتجارب آراغو الأقدم وغيرها الأكثر دقة والتي جرت سنة 1872 على يد ماسكارت .

أن الطريقة الثانية عند لورنتز وإن كانت أقل زخرفة ، فهي بأن واحد أكثر بساطة وأكثر عمقاً وأكثر نتائج . فهي ترتكز على تحويل في الاحداثيات .

ندرس نظامين من المراجع الأول جامد مرتبط بالأثير (هو فضاء وزمن مطلقان) ، والآخر مرتبط بالمادة المفترض انها محركة بسرعة اجمالية ومتسقة ، والاحداثيات في الفضاء تستخرج في هذه النظرية من احداثيات النظام الثابت بفضل المعادلات العادية السائدة في الميكانيك الكلاسيكي ، ولكن الزمن المطلق فيها مستبدل بزمن محلي يتعلق باحداثيات الفضاء وبالسرعته ، إن هذا الزمن المحلي هو ببساطة الزمن الذي يحصل عليه الرصد الجالسون في مختلف النقاط من نظام متحرك من شأنه أن ينظم فيما بينها الرقاصات عن طريق تبادل الاشارات الضوئية ، مع الافتراض بأن هذه الرقاصات في حالة سكون في الفضاء . أما الحقول المغناطيسية والكهربائية المقاسة في نظامي الارتكاز فتختلف تبعاً

للتيارات الكهربائية ولمفاعيل الحث المحدثه بفضل الحركة النسبية . وقرر لورنتز عندئذ القاعدة الأساسية التالية : إذا اُهملنا مربع النسبة $\frac{v}{c}$ (باعتبار c سرعة الضوء فتكون $\frac{v}{c}$ من عيار جزء من اصل مئة مليون جزء بالنسبة إلى الأرض فوق مدارها) ، والمعادلات التي تفسر قوانين الكهرومغناطيسية هي ذاتها في نظامي الاستناد . ويقول آخر تكون - ضمن هذا الترتيب التقريبي - المظاهر الكهربية والضوئية المقاسة من قبل الرصد المتحركين ، عبر تجارب داخلية في نظام الاستناد ، هي ذاتها كما لو كانت في حالة سكون : لا يوجد أي أثر « لريج الأثير » .

من هذه القاعدة العامة حول الثبات (عدم التغير) تستخرج بسهولة حصائل فرنل وفيزو وخلصاتها . إن تغير الاحداثيات في الفضاء وفي الزمن الذي يبدو في هذه القاعدة ، لم يكن حتى ذلك الحين « تحولات لورنتز » بل أول رسة لها . وهناك نجاح آخر حققته نظرية لورنتز هو تعميم حسابات هرتز وج . ح . طومسون حول اشعاع الالكترونات التي تخضع للتسريع ، وهي حسابات وضحت أيضاً في سنة 1897 من قبل جوزيف لارمور Larmor⁽¹⁾ والتي كانت مؤسسة بصورة رئيسية على استعمال الأرحام المتأخرة التي سبق واستعملها كل من ريمان ولورنتز ثم في سنة 1891 هنري سوانكاريه .

وعندما اكتشف ريمان في سنة 1896 ، الظاهرة التي تحمل اسمه ، العمل ، المبحوث عنه عبثاً من قبل فراداي ، أي عمل الحقل المغناطيسي على تردد وكثافة الحويوط الطيفية المرسله من قبل الذرات ، استطاع لورنتز في الحال تقديم تفسير دقيق لهذه الظاهرة ، على الأقل شكلها الأبسط (الأثر الطيفي) ، واستخلاص ما يلي : أن كتلة الألكترونات الضوئية في الذرات يجب أن تكون اقل بمعدل $\frac{1}{1000}$ من كتلة ذرة الهيدروجين .

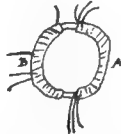
ولنكنا نصل هنا إلى حدي صلاحية نظرية لورنتز كما كانت مصاغة في نهاية القرن التاسع عشر :
1- إن المعادلات في الكهرومغناطيسية ليست ثابتة بالنسبة إلى التحول المقرر في سنة 1895 من قبل لورنتز إلا إذا اُهملنا الآثار من الدرجة الثانية ($\frac{v}{c}$) ولكن في تلك الحقبة السابقة كان من المعروف ان الثبوت يجب أن يكون أكثر دقة ، لأن هذه الآثار من الدرجة الثانية كان يمكن أن تتأكد بفضل تجربة ميكلسون Michelson ومورلي Morley الشهيرة سنة 1887 ، ولكنها أي المفاعيل لم تلحظ يومئذ .
وفتح السبل نحو معادلات التحول المرضية لثبوت دقيق - أي نحو مبدأ « النسبية » - في سنة 1892 : حين اقترح فيتجيرالد ، وبعده بعدة أشهر ، لورنتز ، العرضة القائلة بأن كل الأجسام المتحركة تقلص تقلصاً بسيطاً ، تقلص لورنتز ، ، باتجاه بوازي سرعتها في الأثير ، دون أن تغير أبعادها الأخرى . وهكذا تم التوصل إلى تفسير النتيجة السلبية الحاصلة من تجربة ميكلسون ومورلي . ولكن هذه الفرضية المنفردة ، وهذا التحرف في الفضاء بفعل الحركة ، غير التبع بتحرف مواز في الزمن بدا يومئذ وكأنه انجاز عشوائي .

(1) إن مساهمة لارمور في نظرية الالكترونات لا تُهمل . ففي الحقبة التي كان فيها لارمور يجهتد من أجل الوصول إلى مبادئ ميكانيكية للأثير وللأثار الكهرومغناطيسية في سنة 1894 ، ادخل في نظرياته فرضية السية الذرية في الشحاح . وكانه « الأثير والمادة » الذي نشر سنة 1900 فيه الكثير من الشروحات المفيدة ، وخاصة قاعدته حول « تعادلية لامور » Precession ، أي حول التعادل ، بالنسبة إلى حركة الالكترونات ، بين الحقل المغناطيسي ودوران مجمل النظام مع سرعة زاوية محددة .

2- إن نظرية لورنتز ، رغم جهود واضعها لم تستطع أن تعطي أي تفسير مقبول لما يسمى « مفعول زيمان الاستثنائي » والكثير الحدوث . وكذلك كان يمكن التكهن بمعجزها عن تفسير قواعد الاشعاع العامة ، منذ ذلك الحين . وهي قواعد الأطياف الضوئية للذرات ، وقواعد اشعاع الجسم الأسود . ولكن هذا الفشل قد تسبب بولادة نظرية الكتا التي تنتمي إلى القرن العشرين .



ها نحن قد وصلنا إلى نهاية هذه الدراسة ، في حدود سنة 1895 ، حيث امكن اعتبار اكتشاف الأشعة السينية (X) من قبل رونتنجن Röntgen وكأنه شق في تاريخ الفيزياء . إن الحقة الجديدة ، وهي حقة بداية القرن العشرين تبدأ في أواخر سنوات القرن التاسع عشر . وفي السنوات العشر التي تلت تجارب رونتنجن امكن اكتشاف اشياء كثيرة من بينها خصائص الألكترون الدقيقة ، وخصائص الايونات الغازية ، ثم النشاط الاشعاعي (Radioactivité) واشعاعاته ، وكمية العمل أو الفعل ثم النسبية الضيقة .



صورة 7 - رسمة الجهاز الذي استعمله فراادي عند اكتشافه للحث
(رسم مأخوذ من مذكرته ، 29 آب 1831) .

الدراسة التجريبية للظواهرات الحرارية

وكما هو الحال في قطاعات الفيزياء الأخرى تبدو دراسة الظواهرات الحرارية ذات وجهين ، وجه نظري ووجه تجريبي . ورغم ترابط الوجهين نظراً لانطباقهما على واقع واحد ، اعتقدنا أنه من الممكن بل من المرغوب فيه عرض هاتين القطعتين المتوازيتين ، والمتكاملتين في أغلب الأحيان في فصلين متتاليين .

لا شك أن نقاط الاتصال الكثيرة والتي ظهرت بخلال الق . التاسع عشر ، في هذا المجال حول الحرارة وحول الترموديناميك ، بين عمل المجريين الدقيق وبين مجهود المنظرين ، ادخلت العديد من الاتصالات والروابط بين هذين الفصلين . وبالمقابل إن الأعمال المهمة التجريبية ذات التطبيقات العملية الضخمة لن يكون لها إلا انعكاسات نظرية ضعيفة نسبياً في حين أن بعض البحوث النظرية من الدرجة الأولى لم يكن لها إلا القليل من الانعكاسات التجريبية المباشرة .

فضلاً عن ذلك ، إذا كان القليل من الفيزيائيين يعملون بأن واحد في الحقلين التجريبي والنظري ، فإن آخرين يقصرون جهودهم إما على وضع نظريات جديدة في الفيزياء الرياضية وإما على وضع قوانين تجريبية خالصة ، ويجب أن نتذكر أن الإزدهار العظيم في الآلات الحرارية كان في أساس الأعمال العديدة والاختراعات الكثيرة التي كان لبعضها انعكاسات عميقة في مجال تقدم التجارب . إن دراسة الظواهرات الحرارية في مجملها كان إلى حد بعيد بفضل كون الأوساط الصناعية في بعض البلدان من أكثر الأوساط تنوراً ، التي اهتمت كثيراً بتطوير تقنية الموتورات الحرارية . وكانت ردة فعل الحكومات أكثر بطأً بوجه عام ، وقلما قامت بعض المختبرات الرسمية قبيل النصف الثاني من القرن بتخصيص اعتمادات ضرورية لبناء أجهزة مكلفة لتحقيق سلاسل طويلة من التجارب .

ودون امكانية الكلام ، حقاً ، عن مدارس ، فإن العديد من البلدان قد حافظ على نشاط تجريبي كبير في هذا المجال طيلة القرن . في فرنسا كان غاي لوساك ، وأراغو ، ودولون وبتي وكلايرون وكانيار

دي لاتور ، وبويه Pouillet ، وديسرتز ، ولوشاتيلي ، وكايتيه Cailletet ، وسانت كلير دوفيل ، وأماغات وبرتيلو ، كل هؤلاء يستحقون الذكر ، ولكن العمل الأكثر غنى والأكثر كمالاً هو العمل الذي قام به هـ . فكتور رينسو (1810 - 1878) عبر حياة خصبة مخصصة بصورة اساسية لسلسلة طويلة من التدابير المتخذة بصبر وبدقة مثالين .

وفي بريطانيا كان المجربون الأكثر بروزاً فرادي ، وجول ، وج . ثم . و. تومسون ، ورائكين ، واندروز ، وديوار . وفي ألمانيا كان ماغنوس واوغوست ، وكلوذيموس ، وبونس ، وويلدمن وفرائنز وهلمولتز ، ونرنست Nernst ووين ، فحققوا انجازات مهمة تجريبية استكملت غالباً ببحوث نظرية غنية . ويتوجب علينا أن نشير أيضاً إلى اساء كولادون ور. بيكت في سويسرا ، واولز وسكي وروبولسكي في بولونيا وناتيسر في النمسا ، وفاندر والس وفانت هوف وكاملرن اونس في البلدان المنخفضة ، مع التشديد بشكل خاص على هذا الأخير الذي أوجد في ليد مختبراً تصريدياً حسن التجهيز وفيه تحققت أكثر الانجازات بروزاً في مجال الفيزياء ذات الحرارة المنخفضة جداً .

I - الترومتر (قياس الحرارة)

الترومتر السائل : في بداية القرن التاسع عشر كان اسلوب استعمال الترومتر السائل قد استقر ، بشكل خاص بفضل الأعمال العظيمة التي قام بها ريسمر Réaumur وفهرنهايت Fahrenheit . وبقيت على كل حال مسألة مهمة هي مسألة تعبير دقيق لعمود الماء ، وهي مسألة شعر بها ريسمر ولانبرت Lambert . وحقق غاي- لوساك Gay - Lussac هذه العملية عندما أشار إلى التوضع المثالي الذي احتله عمود من الزئبق طوله عدة سنتيمترات جرى نقله على طول قناة . وجرى اساليب مشابهة أو طرحت من قبل رودبرغ Rudberg وهالستروم Hallstrom ، وبيسل Bessel .

ومن اجل زيادة الدقة في القياسات صنع ولغردين Walferdin في سنة 1840 ترومتر لقب « فوق الثالث » ولم يتضمن سلمه إلا ثلاث درجات أو اربع درجات يتوافق كل منها مع طول عشر ستم تقريباً . أما مسافة القراءة فيمكن ان تتغير بتمرير جزء من الزئبق إلى خزان اضافي . ولكن صعوبة استعمال هذه الآلة اخرت انتشارها إلى أن وضع شيرر - كستنر Scheurer - Kestner منهجاً تصحيحياً سهلاً نسبياً .

إن الترومتر الوزني ، الذي تصوره دولون Dulong وبيتي Petit يتألف من خزان من الزجاج ينتهي بانبوب خيطي رفيع ومنحن . فإذا ملأه بالزئبق عند الدرجة صفر ثم عند الدرجة (T°) فانه يسرب كمية من السائل يختلف وزنها بحسب الحرارة الحاصلة .

ونذكر أيضاً وضع ترومترات ذات حد اثن واحد اقصى من قبل روزر فورد سنة 1794 ، ونذكر أيضاً انجاز ترومترات طبية الخ .

الترومترات الغازية : إن ايسط هذه الأجهزة تتألف من خزان مملوء بالغاز ، ومحدود إما بواسطة جهاز مانومتري أو بواسطة انبوب افقي يحتوي على مؤشر يتنقل بحسب تغيرات حجم الغاز الداخلي . وقد استعملت انماط كثيرة من الترومترات الهوائية التي استخدمت في القرن السابع عشر من قبل فان

هلمونت ومن قبل ج. ك. ستورم J.C. Sturm ، وفي القرن الثامن عشر من قبل أمونتون Amontons وهرمان Hermann . وإدخلت تحسينات مهمة ، مرتبطة بالبحوث حول تمدد الغازات في القرن التاسع عشر وخاصة من قبل غاي- لوساك ، ورينيو ، ومندلييف Mendéléeff . وتم تكريس الترمومترات الغازية المسماة عادية ، والتي تعمل بفعل تغير الضغط في حالات الحجم الثابت ، عندما قام المكتب الدولي للأوزان والمكاييل باستعمال مثل هذا الجهاز لوضع سلم نموذجي لدرجات الحرارة (1887) .

البيرومتر Pyromètre : من أجل تحديد درجات الحرارة المرتفعة جداً استخدم بويه Pouillet في سنة 1836 ترمومتراً غازياً ذا خزان من البلاتين . ولاحظ سانت كلير دوفيل ، وتروست Troost (1857 - 1859) أن البلاتين يصبح قابلاً للانخراق أمام الغازات في الدرجات العالية من الحرارة ، مجهزةً بيرومتر الغاز بخزان من البورسلين الصلب .

وهناك طرق أخرى طبقت من أجل تحديد درجات الحرارة المرتفعة : الطريقة الكالوريمترية (بويه) ، وطريقة تغير الحجم (بيرومتر وود Wedgwood المؤلف من أسطوانتين من الفخار الناشف ، 1782) ثم الأسلوب المؤسس على ذوبان وجليان بعض الأجسام (برنسب 1828 Prinsep ؛ أبولد Appold ، 1855) ، ثم البيرومتر ذو المقاومة الكهربائية (سيمانس Siemens ، كالاندر 1886 Callendar 1891) .

وتم بنجاح أيضاً تحديد حرارة الأجسام المنتهية بمراقبة خصائص الضوء الصادر عنها . وهكذا عبّر (بويه) Pouillet التلويحات المختلفة التي اتخذها البلاتين عندما وُضع في حالة التأجيج . وبعد قياس زخم الضوء الصادر عن جسم مسخن ومقول عبر زجاج ملون بين أ. بيكريل في سنة 1863 ، أنه ، في نفس درجات الحرارة ، تصدر الأجسام الكثيفة كلها نفس الضوء . واكتشاف قوانين الإشعاع في أواخر القرن التاسع عشر أتاح صنع بيرومترات بصرية أكثر دقة .

المزدوج الحراري - الكهربائي : بعد اكتشاف المفعول الحراري الكهربائي من قبل سيبك 1821 طبقت هذه الظاهرة على تحديد درجات الحرارة . وساهم ارستيد وبويه و. ف. تومسون وبيكريل ووجندورف الخ . في صنع ترمومترات حرارية كهربائية من أجل الدراسة النظرية ومن أجل توسيع تطبيقاتها . وقد استطاع هولبورن ووين (1896) تعيين مكاسب البلاتين - البلاتين المزوج بالروديوم (وهو جسم فلزي أبيض) ، خاصة من أجل قياس درجات الحرارة العليا .

II - دراسة التمدد

تمدد الجوامد : في القرن الثامن عشر ، جرت قياسات دقيقة نوعاً ما حول تمدد الجوامد من قبل ديلوك Deluc (1772) ومن قبل لافوازييه ولابلاس . واستعمل هذان الأخيران جذعاً معدنياً كان إذا تمدد يضغط على انحناء منظار متحرك حول محور .

في سنة 1818 حدد دولون وبيني معدلات التمدد التكميبي لمختلف المعادن بواسطة ترمومتر الوزن وأثبتا أن هذه الكميات تتغير بنسبة خطية مع الحرارة . وقد استعمل ماتيس Mathuesen (1866) مقاييس أكثر دقة ووضع هذه المعدلات بشكل وظائف من الدرجة الثانية فيما يخص درجات الحرارة .

أما الطريقة التداخلية التي ابتعها فيزيو Fizeau في سنة 1864 وحسنها أبي Abbe في سنة 1884 فقد ادخلت تنقل المذهب التي تشكل ضوءاً وحيد اللون (مونوكروماتيا) ضمن رقاقة من الهواء الرقيقة جداً المحدودة بكتلة من الزجاج ويطح الجسم المدروس .

وبين ميتشرليك (Mitschertich) في سنة 1827 بأن البلورات المتباينة الخواص تتمدد بصورة غير منتظمة في مختلف الاتجاهات . إن دراسة تمدد المواد البلورية قد درست فيها بعد من قبل فيزيو .

تمدد السوائل : كان تمدد الزئبق موضوع قياسات من قبل دولون وبيتي اللذين استعملوا الأنابيب المتصلة التي كانت فروعها في درجات من الحرارة متنوعة . واستطاع فيزيائيون آخرون ومنهم رينيو ، بطرق متنوعة ، الحصول على نتائج أكثر دقة .

إن دراسة تغير الثقل الوعي للماء تبعاً لدرجة الحرارة ذات أهمية خاصة جداً ، سواء بسبب الدور الضخم الذي يلعبه الماء في الطبيعة أم لوجود حالة عليا من الثقل النوعي في الماء عند درجة الحرارة المثوية أربعة . وعالج هالستروم Hällström ، وديترز Despretz وشيل Scheel على التوالي ، تحديد درجة الحالة القصوى من الثقل النوعي ، كما أوضحوا النتائج التي حصل عليها في السابق هوب Hope ورومفورد Rumford (راجع مجلد 2 القسم 3 ، الكتاب 1 ، الفصل 3) . ودرس العديد من المجريين تأثير المواد المذابة في الماء على درجة حرارته عندما يكون ثقله النوعي في أعلى درجاته ، مكتشفين بشكل خاص انخفاض هذه الحرارة انخفاضاً يتناسب تقريباً مع كمية المادة المذابة .

تمدد الغازات ، قانون غاي - لوساك : حملت ولادة الكيمياء الفرضية وتقدمها السريع بخلاف النصف الثاني من القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2 ، القسم 3 ، الكتاب 2 ، الفصل 3 و 4) العديد من الفيزيائيين على الاهتمام بالخصائص الفيزيائية للغازات ، وبصورة خاصة على الاهتمام بدراسة تغير الحجم ، في حالة الضغط الثابت تبعاً لدرجة الحرارة . وبناء عليه قام لامبير ، وبرستلي وفولتا ، ومونج وبرتوليت Berthollet وفنرmond Vandermonde بدراسة كمية تمدد الهواء وختلف الغازات . ولكن معظم قياساتهم كانت مشوبة بأخطاء خطيرة سببها التخلخل والنقص في تقنيتهما الأدائية ، وفي الدرجة الأولى من جراء التقية غير الكافية للغازات المدروسة . واستعمل لويس جوزيف غاي - لوساك (1778 - 1850) . جهازاً تجريبياً أكثر دقة ، وكان يوثق معداً في المدرسة بوليتكنيك ، فوضع في سنة 1802 أن العارات المتنوعة التي درسها (الهواء الفضائي ، الهيدروجين ، الأوكسجين ، والأزوت الخ) « تتمدد أيضاً بنفس درجات الحرارة » . وكان يعمل بين صفر ستغراد ومئة ستغراد ، فتوصل بالتالي إلى التأكد من أن كل الغازات تمتلك نفس معامل التمدد ، وهو معامل موحد مستقل عن طبيعة هذه الغازات ، وعن درجة حرارتها وعن الضغط عليها . وحدد هذا المعامل فبلغ 0.00375 (أي ما يعادل تقريباً $\frac{1}{267}$) وهي قيمة جعلت فيما بعد $\frac{1}{273.2}$ تقريباً .

هذا القانون الجديد الذي سمي قانون غاي-لوساك الشهير ، والذي قد استشعره العديد من الفيزيائيين منذ القرن الثامن عشر (أوآخره) أمثال : لامبير ، وفولتا وشارل ، والذي اكتشف في نفس الحقبة وبشكل مستقل من قبل الإنكليزي جون دالتون ، استقبل بالرضى الكبير . واتاح جمعه إلى

قانون بويل ماريوت (راجع مجلد 2 ، القسم الثاني ، الكتاب 1 ، الفصل 2) تقنين مجمل الخصائص المتعددة لكل الغازات بشكل بسيط ومنسجم .

ولكن الحقيقة أخذت تتكشف بشكل فريد واكثر تعقيداً ، فالتقدم في طرق القياس اظهر سريعاً التفاوت الواضح بين هذه القوانين النظرية ، والسلوك الفعلي للغازات الحقيقية . وهكذا بدت قوانين « بويل - ماريوت » وغاي - لوساك كقوانين حدودية تتيح تحديد حالة غازية مثالية هي حالة الكمال ، وهي حالة تبعد عنها الغازات الفعلية ابتعاداً يقل كلما ارتفعت درجة حرارتها وضعف الضغط عليها .

وفي النصف الأول من القرن التاسع عشر استعادت الداسة التجريبية لتمدد الغازات في حالة الضغط الثابت ، وعلى التوالي ، من قبل رودبرغ ، وماغنوس ورينو الذين استطاعوا ، بفضل جهاز اكثر دقة وبفضل تقنية عملياتية اكثر منهجية ودقة ، أن يحسّوا النتائج التي وصل إليها غاي - لوساك ، فاصلحوا ، بصورة خاصة بعض الأخطاء التي تعزى إلى عدم ضبط الأجهزة من حيث تسكيرها . ويتأوا الهواء والغاز كربونيك ، تحت ضغوطات خفيفة ، يتميزان بمعامل تمدد يزداد مع الضغط . وتم تحسين هذه النتائج المتنوعة ، ونشرها في النصف الثاني من القرن بفضل جهود كايتيه Cailliet ، واندروز Andrews ، وأماغات Amagat الخ (راجع حول هذا الموضوع دراسة ج. آلر الفقرة ، الفصل اللاحق).

III - الكالوريتريا

لقد صيغت مبادئ قياس كميات الحرارة من قبل ولكي Wilcke وبلاك Black في النصف الثاني من القرن الثامن عشر ، ووضع أول كالوريتر عملي فعلاً ، واستخدم من قبل لافوازييه ولابلاس في سنة 1783 . وقد تمّت العودة إلى طريقة ذويان الثلج التي استعملها ، بواسطة أجهزة اكثر دقة ، تخفف من تبدد الحرارة وتحسن من قياس درجة الحرارة ، وذلك من قبل هرمان (1834) ومن قبل ج. هرشل (1847) ، ومن قبل بونس 1870 ، الخ .

واستطاع فافر وسيلبرمان صنع كالوريتر تمديدي زئبقي (1850) ، في حين استعمل مجربون عديدون الطريقة المسماة طريقة المزج ، والتي استعملت بعد 1750 من قبل الفيزيائي الروسي ريخمان . وتم التوصل إلى تحسينات مهمة في العزل الحراري وفي تقنية القياسات ، وادخالها على هذا النمط من الأجهزة ، خاصة من قبل رومفورد وبيني ودولون ورينو وبرنيلوت (1865) ولوغينين Louguine (1896) . إن نموذج هذا الأخير يتلاءم بشكل خاص مع قياس الكفاءة أو السعة الكالوريفية في السوائل بين درجة الحرارة العادية ونقطة غليانها .

طريقة التبريد : إن هذه الطريقة استشعرها نيوتن واقترحها في سنة 1796 ت. ماير . وقد استخدمت هذه الطريقة لقياس الكفاءات الحرارية على التوالي من قبل دولون وبيني ومن قبل دبرتز Despretz . وهي تقوم على مقارنة الأزمنة اللازمة لمختلف الأجسام كي تنحسر عن طريق التبريد في الفراغ ، نفس عدد الدرجات - على أن يبقى حجمها ودرجة حرارتها الأساسية ودرجة حرارة المحيط المجاور ، واحدة .

إن الحدث ، في حالة الجوامد ، القاضي بأن تكون الأجسام المدروسة في حالة المسحوق أو الغبار التي تجعل اتساق وكثافة هذه الأجسام صعبة المقارنة ، يجعل هذه الطريقة قليلة الدقة . وبالمقابل ، وكما بين ذلك رينيو . قد تعطي هذه الطريقة نتائج جيدة في تحديد الحرارة الخاصة للسوائل .

الحرارة الخاصة في الغازات ذات الضغط الثابت C_p : إن القياسات الأولى للحرارة الخاصة C_p التي جرت في أواخر القرن الثامن عشر كانت تنقصها الدقة . فقد حصل نبي لاروش وبيرار ، في سنة 1813 ، على نتائج أفضل باستعمال طريقة المزايج ، بوضع حجم معين من الغاز ينقل إلى كالوريتر ، الحرارة الضائعة عند مروره من درجة حرارة (t) إلى درجة حرارة أكثر انخفاضاً (t'). وقد توصل هذان العالمان إلى النتيجة المتوسطة $C_p = 0.2669$.

وعاد رينيو . سنة 1852 إلى هذه الطريقة مستبعداً الأسباب الرئيسية للخطأ والتي كانت تعيب نتائج سابقه . وبين أنه بالنسبة إلى الغازات المستجمعة شروط قانون بويل ماريوت ، فإن C_p مستقلة عن درجة الحرارة وعن الضغط (بالنسبة إلى الهواء بين 0°C و 200°C ، تكون $C_p = 0.2386$) . وبالمقابل وبالنسبة إلى الغازات التي تنحرف مثل الغاز كاربونيك بشكل ظاهر عن هذا القانون ، فإن C_p تكبر مع درجة الحرارة . وعاد ويدمان إلى هذه القياسات في سنة 1876 وحصل على القيمة 0.2391 .

الحرارة النوعية ذات الحجم الثابت C_v : إن الكمية C_v التي ثبتت أهميتها النظرية منذ 1850 من قبل كلوزيوس ، لا يبدو أنها كانت موضوع دراسة قياسية مباشرة قبل سنة 1886 ، وهو تاريخ استعمل فيه جولي ولهذا الغرض كالوريتر تفاضلياً بالتخير المصمم خصيصاً .

تحديد $\gamma = C_p/C_v$: كما سنرى في الفصل المقبل أن معرفة هذا الحاصل مرتبطة مباشرة بتحديد المعادل الميكانيكي لوحدة الحرارة . ولهذا فقد كان موضوع دراسات عديدة . وكانت الطريقة الأولى المستعملة هي طريقة سرعة الصوت ، التي عرضها لابلاس سنة 1816 والتي اتاحت إلى غاي- لوساك (1822) وأمام دولون (1829) ، الحصول على نتائج مهمة أولية . إن تطور علم الترموديناميك حمل كلوزيوس و Rankine وهيرن Hirn ، إلى آخره ، على العودة مجدداً من أجل تحديد هذه الكمية التي ازدادت أهميتها التجريبية من جراء صعوبة القياسات المباشرة لـ C_v . تشير أيضاً إلى طريقة كليمنت وديزورم Desormes اللذين ادخلا في الانطلاق ضغطاً سريعاً للغاز المحتوي ضمن بالون ، الأمر الذي ساعد في سنة 1819 على الحصول على قيمة دقيقة نوعاً ما هي $\gamma = 1.356$.

IV - القابلية للتوصيل الحراري

قابلية الجوامد : دُرِس انتشار الحرارة تحليلياً من قبل فوريه ، وذلك في قضبان المعادن وقام بقياس الدرجات بيوت في سنة 1819 وديرتز اللذان استخدما ترمومترات موضوعة ضمن تجاويف موزعة بشكل منتظم في قضيب نحبي في أحد اطرافه . وادخل لانغبرغ ثم ويدمان ثم فرانز (1853) تحسينات على تقنية التنفيذ وذلك باستبدال القضيب المعدني بخيوط موصلة ثم الاستعاضة عن الترمومترات بمجموعات ترمو- كهربية . واستطاع ويدمان أن يصف هكذا اثني عشرة معدناً ترتيباً مع درجة التوصيل المتنازل (من الفضضة إلى البرزموث) ثم التثبت من سببية التوصيليات الحرارية

والكهربائية وهي نسبة استشر بها في القرن الثامن عشر فرانكلين وأشار . وتم الحصول على نتائج اذق على يد انغستروم سنة 1861 ، وف. نيومان 1862 ، وكيرشهوف سنة 1880 وكوهلر وش سنة 1900 الذين بينوا ان العلاقة التوصيلية تتعلق بفروقات الحرارة وبالزخم وكلاهما يتدخل في القياسات .

إن التوصيلية في البلور درست تبعاً من قبل سينارمونت (1847) وفون لانغ (1868) وجانيتاز (1873) ورونتجن (1874) الذين قرروا أن السطوح التحوارية (isothermes) هي اهليلجيات (ellipsoides) ذات طيغة متعلقة بالسمة الأساسية في النظام البلوري .

توصيلية السوائل : إن تحديد هذه الكمية يلاقي صعوبات خاصة - خاصة مع وجود تيارات حمل حراري (Convection) - وهذه الصعوبات شوهت تماماً المحاولات الأولى التي جرت في اواخر القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر . وعلى هذا وبعد تجارب حصلت بين 1792 و 1797 استخلص رومفورد عدم توصيلية السوائل والغازات ، وهو زعم لم يتغير إلا بصورة مختصرة على يد نيكولسون وموراي . وجرت قياسات اكثر دقة سنة 1839 من قبل دبرتزر ، فاثبتت توصيلية الماء ، واتاحت التعبير عن قانون التنازل الأمي لدرجة الحرارة داخل السائل ، تبعاً لمسافة النقطة المدروسة وبعداً عن مصدر الحرارة . وقد جهدت التجارب اللاحقة التي قام بها غوتسري (1868) وونكلمان (1880) وشموث (1893) الخ. ، في استبعاد بعض اسباب الخطأ ، ثم - بشكل غير كامل - تحسين الدقة في النتائج الحاصلة .

توصيلية الغازات : إن هذا القياس اعترضته مصاعب تجريبية اكبر ايضاً ، فلم يعالج بشكل جدي الا بصورة متأخرة . وقد دلت تجارب وقياسات ماغنوس (1861) ونار (Narr 1871)، وستيفان (Stephan 1872) ، وونكلمان (Winkelmann 1872 - 1893) واندروز (Andrews) ، أن الغازات لها قابلية توصيلية حرارية تتعلق بطبيعتها (إن الهيدروجين اكثر توصيلاً من بقية الغازات) ثم بضغطها

٧ - تعادل الطاقة الميكانيكية والحرارة

دلت تجارب رومفورد (1798) ، حول التسخين الحاصل اثناء حفر المدافع أن الكالوري الكبيرة تساوي تقريباً 570 كلف متر (والخطأ النسبي هو $\frac{25}{100}$ تقريباً) . وفسر رومفورد هذه النتيجة فاعتبر الحرارة كحركة ، وهو تصور اعتمد دافي وأمبيردون أن يتألا اجماع الموافقة .

ومن سنة 1840 إلى سنة 1849 عاد جول الى قياس المعادل الحراري للطاقة الميكانيكية المبددة ، إما من جراء الدوران في ماء الكالوريومتر للجهاز ذي اجنحة مجرور بفعل سقوط وزن ، أو باحتكاك صحتين معدنيتين . وهكذا حصل على نتيجة ممتازة وسطى : $J =$ (معادل الكالوري الكبرى) = 423.4 كلف متر . (والخطأ النسبي هنا هو أقل من $\frac{1}{100}$) ثم بطريقة مماثلة حصل رولاند Rowland ، في سنة 1880 ، وبفضل تقنية تجريبية شديدة الدقة ، على نتيجة اكثر دقة 4.184 جول كمعادل للكالوري بين 17 و 18°C) . نشر ايضاً إلى التجارب التي نفذها هيرن Hirn . في سنة 1858 استخدم هذا الفيزيائي صدمة اسطوانة معدنية فحصل على النتيجة ($J = 425.2$ كلم) . وهي نتيجة اقل دقة بقليل من النتيجة الوسطى التي توصل إليها جول . وحاول هيرن ايضاً أن يحدد الخسارة في الحرارة التي تفتقر

بالعمل الحاصل ضمن الأسطوانة في آلة بخارية . ولكن تعقيد طريقته لم تمكنه من الحصول إلا على نتيجة تافهة ($J = 398$ كلغم) .

VI - تغير الأحوال

بخلال القرن التاسع عشر ، بدت مساوىء الطريقة القديمة في تصنيف الأجسام تبعاً لحالاتها : حوامد ، سوائل ، وغازات ، وذلك بشكل واضح جداً ، ذلك أنه قضت الضرورة بالتفريق بين حالتين من الجهاد لكل منها خصائص مختلفة تماماً عن الأخرى : حالة التبلر وفيها تكون المادة موزعة تبعاً لتجميع شكري أو متشابك - وهو توزيع يعطي للمجموع صفة أساسية متباينة الخواص - والحالة اإرحاحية وتتميز بترتيب غير منسوّ في الجزيئات مع تماثل في الخواص الرئيسية الإحمالية الضخمة . إن هذه الخصائص الأخيرة فيها بعض التماثل مع خواص الحالات السائلة والغازية (حالات يمكن تصنيفها تحت اسم حالة الميوعة أو السيولة) .

الذوبان والتجمد : إذا كانت هاتان الظاهرتان ، في الأحسام المتبلرة ، محددتين تماماً بكل من التغيرات العيرانية ، والمتقابل ، والنسبة إلى الأحسام غير المتبلرة ، تبدو ظاهرة الذوبان من خلال تغير مستمر في الخصائص ليكابيكية . وعلى كل يمكن تحديد نقطة الذوبان بواقع أن درجة حرارة الجسم ، الخاصية لتأثير مصدر حراري ، تبقى مستقرة طيلة مسار الظاهرة

وكذلك الأمر بالنسبة إلى التجمد . هاتان الحالتان من التغير يمكن توضيحها بوضع منحنيات تمثل درجة حرارة الأجسام المدروسة تبعاً للزمن . وقد رسمت هذه المنحنيات من قبل لوشاتيل ، ثم من قبل تامان Tamman وشاربي Charpy (1895) . وقد اتاحت انماط موعة من الأجهزة تسجيل هذه المنحنيات بشكل اوتوماتيكي : إن ظاهرة فوق الذوبان - أي إبقاء الجسم في حالة سيولة تحت نقطة التجمد - قد لوحظت من قبل العديد من المحررين ، إمّا في حالة الفوسفور الذي يمكن الإبقاء عليه سائلاً حتى درجة (25) ستغراد ، في حين أن نقطة تجمده العادية هي 44 درجة ستغراد ، أو في حالة الماء . فقد بين غاي - لوساك أنه بالإمكان بدون تجميد ، تبريد كمية من الماء حتى الدرجة (-12°C) وذلك نعطيته بطبقة بسيطة من الزيت ، فقد لوحظ فيها بعد أن ظاهرة فوق الذوبان تتوقف عندما يحرك السائل بقص من الزجاج . وقرر دبرتز Despretz ومونتي Monti أن مطلق سائل يمكن أن يبقى عليه مذوباً ، حتى لو تعرض لحركات عيفة . وتوقف ظاهرة فوق الذوبان ، الملحوظة سابقاً ، تم تفسيرها عندئذ بادخال بعض من عناصر متنوعة تلعب دور مسهل التبلر .

تأثير الضغط على نقطة الذوبان : لقد تثبت العديد من المحررين بخلال القرن ، من أن نقطة الذوبان في أي جسم حامد ترتفع أو تنخفض بتأثير زيادة الضغط ، وبحسب ما إذا اقترن ذوبان المادة لمدروسة بزيادة أو نقص في الحجم . وباء عليه بين و. تومسون أن نقطة ذوبان الثلج تختلف بمقدار $0,00812^{\circ}\text{C}$ - ، عندما يزداد الضغط بمعدل جوئية واحدة . وقامت دراسات مماثلة بالنسبة إلى احسام أخرى على يد بونسن ، وهوبكنز Hopkins ، وأماغات Amagat - وهذا الأخير استطاع بفضل تقدم تقنيات الضغط العالي ، أن يجري تجاربه تحت ضغوطات انتقلت خلال بضعة سنوات من بضعة مئات « الجوئيات » إلى 3000 جوئية (1890) . وتذكر أخيراً السلسلة الجيدة من التجارب حول ظاهرة

إعادة التجمد ، المحققة في سنة 1871 من قبل الفيزيائي الانكليزي تيدال Tyndall .

الدراسة التجريبية لنظام السائل - بخار : من المعلوم أن كل سائل يتمتع بسطح حر تصدر عنه ابخرة في هذا السطح . وإذا كان الفراغ موجوداً فوق السائل ، فإن التبخر يحدث بسرعة كبيرة . أما إذا كان السائل مضغوطاً بغاز أو ببخار فإن ظاهرة التبخر تصبح أبطأ وتتوقف عندما يبلغ ضغط البخار حداً أقصى (يسمى ضغط الاشباع) وهذا الضغط تابع لدرجة الحرارة . ومن جهة أخرى يتمتع البخار البعيد جداً عن ضغطه الاشباعي بالخصائص الرئيسية التي يتمتع بها الغاز ، كما أنه يتبع ، بشكل خاص ، وبدرجة أولى من التقريب قوانين بويل - ماريوت ، وغاي - لوساك . وبخلال القرن التاسع عشر اهتمت دراسات كثيرة بموضوع دراسة تغير ضغط الاشباع تبعاً لدرجة الحرارة . وبعد تطبيق التجارب هذه على الآلة البخارية ، أصبح الماء موضوع العديد من الأشغال ، بقصد استكمال ، وتحسين النتائج المتتالية الحاصلة ، ويكتفي بالتجارب الرئيسية ذات المدلول النظري ، فنذكر بشكل خاص تجارب شميدت Schmidt (1890) ، وات Watt (1814) ، ودالتون ، وغاي لوساك ، وبيوت ودولون وماغنتوس ، وبشكل خاص البرامج الواسع حول القياسات الذي قام به - ف. رينيو إنشاء التجارب التي جرت بشكل منهجي خالص ودقيق بناء على طلب اللجنة المركزية للآلات البخارية . وقد وسع معظم هؤلاء المجرئين قياساتهم فاشملوها وسائل أخرى ، محاولين عثاً الحصول على قوانين عامة . وجمع رينيو نتائج تجاربه ما بين 1854 و 1860 في صيغة لوغاريتمية ذات ثلاثة حدود يدخل فيها معاملات تتعلق بالسائل المدروس

ونذكر أيضاً أن دالتون ، منذ 1804 ، قد أعلن عن قانون وجهه يكون ضغط الاشباع في البخار مساوياً لضغطه في فضاء يحتوي على غاز حيادي أو في فراغ ، وهذا القانون ثبتت درجة تقريبه في سنة 1854 من قبل رينيو .

الغليان : كانت هذه الظاهرة موضوع العديد من الدراسات . إن تغير درجات حرارة الغليان التابع للضغط ، كان موضوع دراسة خاصة من قبل رينيو ، الذي ثبت من أن المنحنى التمثيلي لهذه الظاهرة يتطابق مع منحنى ضغط الاشباع . ودرس تأثير مادة الاناء ، وكذلك ظاهرة الحماوة الزائدة أو تأخر الغليان (جرنيز Gernez ، 1875) .

إن ظاهرة التسخين ، التي تحدث عندما تقع نقاط من سائل ما ، فوق سطح ذي درجة حرارة أعلى من درجة غليانه ، قد درست من قبل بوتيني Boutigny وغوسارت Gossart وستارك Stark ؛ وتوضح دور الحماوة في بعض انفجارات الغازات ، وبذات الوقت توضح الاحتياطات الواجبة لتعادي مثل هذه الحوادث .

الميفرومتر (يقيس الرطوبة الجوية) : نذكر أن الحالة الميفرومترية المطلقة تتحدد بالعدد (f) من غرامات البخار المائي الموجود في متر مكعب من الهواء ، في حين أن الحالة الميفرومترية النسبية هي نسبة (f) إلى العدد (F) من غرامات الماء الضرورية لاشباع متر مكعب من الهواء في درجة حرارة معينة (1)

وللإ ميفرومتر (المطاب) ذي الشعر ، الذي وضع تصميمه هـ . ب . دي سوسور Saussure قبل

سنة 1783 والذي استمر ، بفضل تصميمه البسيط والعملي ، شائعاً وناجحاً ، اضيفت نماذج جديدة من الآلات .

والطريقة المسماة « نقطة الندى » تقوم ، بنوع من الأنواع ، على قياس درجة الحرارة (°) التي يستمر عندها ضغط بخار الماء ، في الفضاء المدروس ليصبح ضغطاً اشباعياً . ويكفي من اجل ذلك خفض درجة الحرارة في جسم غاطس في هذا الفضاء ، إلى أن تظهر على سطحه حبيبات من الندى (نقطة الانداء) . ويعطي قياس درجة الحرارة هذه ، بعد مراجعة جدول ضغوطات الاشباع ، النتيجة المطلوبة ، ووضع اجهزة مرتكزة على هذا المبدأ مرتبط ارتباطاً مباشراً بالدرس الدقيق لضغوطات الاشباع ، كما هو مرتبط من جهة اخرى بتحقيق وانجاز معدات عملية تمكن من الحصول على تبريد سريع ومستمر بواسطة تبخير سائل طيار . وكان أول جهاز من هذا النوع ، صممه دانيال سنة 1820 ، قد استكمل فيها بعد من قبل رينيو سنة 1845 ، ومن قبل الوار Alluard سنة 1878 ، وكروفا Crova سنة 1883 .

ووضعت طريقة اخرى سنة 1810 في بيسكرومتر (مقياس لرطوبة الجو) لسلي ، واستكمل من قبل عاي لوساك سنة 1822 ، وأوغست سنة 1825 حتى 1848 . وهذه الطريقة تقوم على مقارنة الدلالات في ترمومتريين ، احدهما ناشف والاخر رطب ، وتقوم على استعمال القانون الذي اعلنه دالتون سنة 1803 : وقوامه أن سرعة تبخر الماء (أي انخفاض درجة الحرارة في الترمومتر الرطب) تتناسب مع الفرق بين الضغط الحقيقي لبخار الماء وضغط الاشباع في درجة حرارة الفضاء (أي درجة حرارة الترمومتر الناشف) .

درجة الحرارة الاشكالية: (Critique) والحالة الاشكالية : عندما بين غي لوساك أن الأبخرة الخاضعة لضغط متدب جداً عن ضغط الاشباع ، تنصرف كما لو كانت غازات كاملة ، وأوصحت بحوث كانيار دي لانور في سنة 1822 ، امراً مهماً آخر . فقد بين هذا المجرب ، في هذا الشأن ، أنه بعد درجة حرارة ما ، قد يتحول السائل الموجود في وعاء مغلق بإحكام ، إلى بخار خالص ، وحدد ، بالنسبة إلى سوائل عدة ، درجات الحرارة ، والضغوطات التي تتناسب مع هذه « الحالة الاشكالية » (الاثير السولفوروي : 175 °C ، 38 جوية ؛ كحول : 248 °C ، 119 جوية ؛ الخ) .

إن تحديد شروط الحالة الاشكالية ، قد تمت العودة إليه في سنة 1867 من قبل اندروز وبواسطة جهاز اقوى بكثير ، وبواسطة طرق للقياس اكثر دقة . واتخذ كمشل غازاً أسهل تسليلاً هو الغاز كربونيك ، ووضع شبكة من المحيات الايزو ترمية (درجة التحاور) ، (ضغط كتلة معينة من جسم ما تبعاً لحجمه) . واثبت وحدد بشكل اجمالي خالص « الايزو ترم » الاشكالي (المتوافق مع درجة الحرارة الاشكالية : 30.92 °C) ثم ، فوق هذا المنحنى ظهرت الاحداثيات الضغط والحجم (التي تمثل نقطة الاشكال وفي سنة 1870 قبل كانييه (Cailletet) بوجود نقطة اشكالية بالنسبة إلى كل الغازات ، وهذا الزعم قد ثبت بصورة تدريجية بخلاف السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر من قبل ناتيرير Natterer ، وكانييه Cailletet وكولاردو Collardeau وماتياس Mathias ، وكامرلنغ أونس K. Onnes ، وذلك بفضل تحسين تقنيات درجات الحرارة المنخفضة جداً وبفضل

التقدم الموازي في وسائل الحصول على ضغوطات مرتفعة . وكانت هذه التحارب حول الحالة الاشكالية ذات علاقة اكيةد بالأعمال العديدة التي حدثت مند بداية القرن التاسع عشر من اجل تحديد القوانين الدقيقة حول تمدد الغازات وقابليتها للضغط ، عدد درجة حرارة ثابتة ، (قوانين غي لوساك وبويل - ماريوت Boyle - Mariotte التي بدت وكأنها التقريبات الأولى غير القابلة للتطبيق بكل دقة إلا على الغازات الكاملة) ، وكذلك بناء على المحاولات الموقفة نوعاً ما من اجل تسييل الغازات المعروفة : بواسطة التبريد ، أو الضغط أو باستعمال هاتين الوسيلتين بأن واحد . وبعد التحارب حول الضغط ، التي قام بها ارستيد سنة 1806 ودولون وأراغو سنة 1825 ، ودوبرتر سنة 1827 ، وبويه سنة 1837 ، جاءت تحارب رينيو التي تمت بدقة مثالية . وفي الصف الثاني من القرن تمت العودة إلى هذه الأعمال بواسطة جهاز مستمر القوة وبواسطة آلات قياس اكثر دقة : ونذكر بشكل خاص المحاولات التي قام بها اندروز وكايتيه وأماغات الخ . وقد ساهم أفيناريوس ، ومنديليف وفان در ولز الخ مساهمة مهمة بهذه الأعمال ، وكذلك ، كما سترى في الفصل التالي ، في تفسير نتائج التحارب .

وفي مجال تسييل الغازات ، تالت النجاحات بسرعة : آيندريد سولفورو (مونج ، 1784) الكلور (نورفمور ، 1805) أسيد سولموريك ، أسيد كلوريديك ، سيانوجين ، أمونياك (فرادي 1823 - 1825) الخ . وفي سنة 1835 نجح ثيلوريه Thilorier في تجميد الغاز كربونيك .

ولكن بالنسبة إلى بعض الغازات لم يستطع المحربون المتألون النجاح في محاولاتهم التسييلية . في سنة 1854 فشل ناتير بدوره في محاولاته من اجل تسييل بعض الغازات المسماة « دائمة » ، مثل هيدروجين والأزوت والأكسجين واوكسيد الكربون ، والميثان ، وذلك رغم استعمالهم ضغوطات تصل إلى 2800 جوية . وفسر اندروز بعد ذلك بقليل ، سنة 1867 ، أن هذه الخيات المتكررة لم يكن سببها إلا أن درجة الحرارة الأدنى ، الحاصلة بومب (- 110 °C) يجب أن تكون أعلى من درجة الحرارة لاشكائية في الغازات المدروسة . وثبتت صحة هذه الفطرة في اواخر 1877 على يد كايتيه ، الذي حصل ، باستعمال التبريد الفجائي المتقطع على درجات حرارة أكثر انخفاضاً مكتنه من رصد ، إن لم يكن تسييل هذه الغازات - ، فعل الأقل ظهور صباب بداخلها . وهذه الملاحظة بالذات حصل عليها خفي راوول بيكت الذي استعمل طريقة التبريد المتدرج ، والتي درسها من اجل غايات تطبيقية عمية . وبعد ذلك بقليل ، أي في سنة 1883 نجح البولونيان روبلوسكي Wróblewski واولروسكي Olszewski في تسييل كميات صغيرة من هذه الغازات بالذات وتبعها الانكليزي ديوار Dewar الذي حصل في سنة 1898 لأول مرة على الهيدروجين السائل بكميات ملحوظة . وفي أواخر القرن التاسع عشر كانت مسألة تسييل الغازات المسماة دائمة قد حلت ، باستثناء الهليوم الذي لم يسيل إلا في سنة 1908 من قبل الفيزيائي الهولندي كامرلين أوس Kamerling Onnes في المختبر التحليدي (الكروبيجي) الشهير الذي انشأه في ليد من اجل التصريد (أي التبريد الشديد) .

بعض التطبيقات : رغم أن التطبيق التقني هو خارج نطاق دراستنا . يتوجب علينا مع ذلك التذكير بأن القرن التاسع عشر قد حقق - إلى جانب الجهود التجريبية التي اتبنا على ذكرها - تقدماً ضخماً في مجال التقنيات الحرارية المتنوعة .

فكانت في البداية سرعة استخدام القوة المحركة للنار ، بفضل التقدم الحاصل في صنع الآلات البخارية ، وفي استعمال هذه الآلات كموامل محركة للعديد من الآلات التي شورت بمعمل التقنيات الصناعية ، وبشكل خاص السفن البخارية والقطارات ، التي طورت بخلال عدة عقود شروط نقل البضائع والمسافرين . وأنه أيضاً ، في مجال الآلات الحرارية بالذات ، تم صنع أولى التوربينات المستخدمة فعلاً ، كما تم اختراع موتور التفجير الذي أدى تطوره السريع - المعزو جزئياً إلى استعمال محروق جديد هو البنزين - إلى اتاحة ولادة ثم تقدم وتطور السيارة والمناطيد الموجهة ، وبعدها ظهور الطائرات الأولى ثم أولى الغواصات . وقد عرفت نهاية القرن تقدماً جديداً في السيطرة على الطاقة بفضل الموتور ذي الاحتراق الداخلي الذي اتاح للموتورات الحرارية ان تثبت مكانتها المهددة من جراء اختراع الدينامو واستعمال النفط « الأبيض » .

وأنه بخلال القرن التاسع عشر أيضاً تمت ولادة صناعة التبريد ، وذلك بفضل اختراع وصنع آلات التبريد المرتكزة على مختلف المبادئ المستعملة أيضاً في مختبرات التبريد . وأدى ازدهار هذه الصناعة ، البطيء أولاً ، وبسرعة فيما بعد إلى قيام ثورة في الصناعة الغذائية وذلك باتاحة امكانية الحفظ المديد للأطعمة القابلة للتلف .

والواقع أنه ، في مجال الحرارة والبرودة ، إذا كان التمييز بين العلم والتقنية أكيداً في الحالات القصوى ، فقد كانت هناك عبر القرن التاسع عشر مناطق واسعة متداخلة كما كان هناك العديد من التقدم العلمي الذي كان في اساس التحسينات التقنية الجذرية بصورة مباشرة ، في حين اتاحت البحوث التقنية للعلم الخالص كي يعرف التطور المهم والكبير .

ولادة ونظور علم الترموديناميك

إن القرن التاسع عشر يتميز ، من ناحية الحرارة ، بصورة أساسية ، باكتشاف مبدئين كبيرين في الترموديناميك⁽¹⁾ . وأول هذين المبدئين هو مبدأ حفظ الطاقة الذي لاقي ، كما سبقنا الإشارة في المجلد السابق (راجع المجلد الثاني) عناية كبيرة في فرض نفسه ، ولهذا ، وإذا وضعنا جانباً التحسينات في تقنيات القياس ، لا نجد أن بداية القرن قد قدمت شيئاً جديداً . وكان لا بد من انتظار تطور الأفكار بشكل كافٍ حتى تنقيل الفكرة بأن صورة « الحراري » ، وعدم امكانية تدميره ، مهما كانت فائدتها السابقة ، كانت مفهوماً مضللاً ومغلوطاً يجب أن يتراح أمام صورة أخرى اعم هي صورة « الطاقة » ، وعدم امكانية تدميرها ، أو بصورة افضل ، امكانية حفظها - ذلك أن كلمة عدم لقابلية للتدمير توجي بفكرة الوجود المادي ، وهو وجود لم يُعط للطاقة ، إلى أن تم حديثاً اكتشاف « جهود الطاقة » . إن صورة الحراري كانت قد ترسخت بشكل مكين في الأفكار إلى درجة حلت - كما سنرى - علماً من مستوى سادي كارنوت Sadi Carnot ، إلى القول ، وإلى استخدام المبدأ الثاني في لترموديناميك وهو المبدأ الذي حمل اسمه ، ولم يتركه (على الأقل في البداية) وحتى وهو يستعمله .

II - حفظ الطاقة

عمل سادي كارنوت: في كتاب « أفكار حول القوة المنحركة للنار » (1824) الذي وضعه سادي كارنوت (1796 - 1832) ، تم لأول مرة وضع رابط بين الحرارة والعمل (وهذه العبارة الأخيرة لم تدخل في المعجمية العلمية إلا في سنة 1826 على يد بونسيلي (Poncelet) وأكد كارنوت - كما ان الموتور الهيدروليكي لا يمكن أن يعمل إلا إذا مر الماء من مستوى اعلى إلى مستوى أدنى - كذلك لا يستطيع الموتور الحراري أن يعمل إلا إذا انتقلت الحرارة من درجة أعلى إلى درجة أدنى ، أو كما نقول نحن الآن ، من مصدر ساخن إلى مصدر بارد . (وبالتالي ، في حين ان العمل الميكانيكي يمكن أن يتحول

(1) ترمو : حرارة - ديناميك : حركة .

بكامله إلى حرارة ، فإن هذه لا يمكن أن تتحول إلا جزئياً إلى عمل ميكانيكي . وهذه الملاحظة أدت إلى اعتبار الحرارة كشكل متدنٍ من الطاقة . وهذا ما سمي بتدهور الطاقة) .

وهنا نجد صيغة من صيغ ما نسميه المبدأ الثاني في الترموديناميك ، أو مبدأ كارنوت . ولكن هذا العمل لم يلاق النجاح المرجو لأن كارنوت كان يفترض يومئذٍ « عدم إمكانية تحطيم الكالوريك » أو الشيء الحراري . ونقول حالاً أنه في سنة 1878 عثر على مذكرة تركها كارنوت قبل موته ، وفيها يصحح غلطه ، ويشير ، إنما دون إثبات أو تبرير ، إلى القيمة الصحيحة نوعاً ما للمعادل الحقيقي الميكانيكي لوحدة الحرارة . ولكن في ذلك التاريخ كان مبدأ حفظ الطاقة (وهو تعبير وجد منذ سنة 1807 ، بفضل توماس يونغ) معروفاً تماماً ، ولذا لم يكن لمذكرة كارنوت هذه أي تأثير على تطور العلم .

المعادل الميكانيكي لوحدة الحرارة : في سنة 1842 تمّ بشكل أوضح في سنة 1845 ، قدم روبير ماير (1814 - 1878) ، ولأول مرة قيمة لهذا الشيء ، وذلك بفضل تحليل يمكن إيجازه بما يلي :

عندما نسخن ، بمقدار درجة (C واحدة) ، غراماً من الغاز ، في ظل ضغط ثابت (P₀) ، فإن حجمه (V₀) يزيد بما يعادل « α » باعتبار « α » معادلاً للعامل التمدد . وكان لا بد من تقديم حرارة بما يعادل (Cp) الحرارة النوعية في الضغط الثالث) ونحصل على عمل يساوي (P₀V₀α) . وبسخن هذا الغرام من الغاز درجة مئوية واحدة ، مع الحجم الثابت ، نكون قد قدمنا فقط Cv الحرارة النوعية ضمن حجم ثابت) ، ولكن لا نحصل على أي عمل . أما الفرق (Cp - Cv) ، فيجب أن يساوي العمل (P₀V₀α) ، ثم إذا كان (J) المعادل المطلوب فيجب أن نكتب :

$$\alpha = (Cp - Cv) / J$$

لومنه نستخرج (J) .

وإذا كان هذا التحليل دقيقاً ، فكان من الواجب العثور على نفس القيمة مهما كان الغاز ، وهذا لم يحصل . ذلك أن ماير طرح ضمناً فرضية مفادها أن تغير الطاقة الداخلي باطل عند تمدد متحارر (ايزوترم) ، وهذا امر لا يصح إلا بالنسبة إلى العازات الكاملة (غي لوساك ، 1807 ، وجول سنة 1845) . وهذه النتيجة شكلت قانون جول بعد أن استخدمت كتعريف للحالة الكاملة .

فصلاً عن ذلك ، لم يكن ماير في عمله ينظر فقط إلى (J) ، ولكنه ترقّب أيضاً التطبيقات الكهربائية والبيولوجية لمبدأ الحفظ العام . وفي مذكرة عامة تالفة من سنة 1848 ، ترقّب حتى مسألة الدفق والتراجع في البحار ، وطرح مسألة الطاقة الشمسية ، وشرح التلطي في شهب النيازك عن طريق الخسارة من الطاقة الحركية في الفضاء . ونرى أنه في الاجمال ، انصب اهتمام ماير الأساسي على البحث عن ثابت . ونجد بالتالي إحدى التصورات الغالية عند هنري بوانكاريه : كل شيء محكوم بنظام من المعادلات التفاضلية وهذا النظام يفترض بالضرورة استكمالات أولى واحداها ، المخسارة بشكل ذكي ، يمكن دائماً أن يسمى « طاقة » ، الأمر الذي يجعل من مبدأ حفظ الطاقة تعريفاً موهوماً. وعدا عن طريقة روبير ماير ، جرت في البداية تجارب عديدة بهدف : اما التثبت من مبدأ حفظ الطاقة أو تحديد قيمة J بدقة .

وفي المجموعة الثانية ، يتوجب علينا أولاً ذكر التجارب المعروفة عن جول . والتي بدأت في سنة 1840 حتى نشرت بين 1843 و 1850 وفيها تم تحويل العمل (الحاصل مثلاً بفضل سقوط الأوزان) إلى

حرارة ، وذلك باستخدام احتكاك الماء ببعضه . وقد ادخلت تحسينات على هذه الطريقة من قبل جول نفسه سنة 1878 ومن قبل رولاند Rowland (1879 - 1880) ومن قبل ميكوليسكو Miclescu سنة 1892 . وهناك طرق أخرى كهربائية مثلاً ، استخدمت أيضاً ، وفي النهاية كانت النتائج مضمونة وواضحة حتى أن المؤتمر التاسع العام للأوزان والمكاييل الذي انعقد سنة 1948 ، قد اعتمد الجول (J) (وحدة عمل) كوحدة حرارية من أجل تحديد الكالوري بما يعادل تماماً : 1868 ، 4 جول .

وكانت التجارب في المجموعة الأولى ، كما تم تصورها أقل دقة ولكنها استخدمت ظاهرات متنوعة جداً تتضمن تحول العمل إلى حرارة كما تتضمن التحول العاكس . ونذكر تجارب جول حول الضغط أو حول تمدد الهواء ، ونذكر تجارب هيرن Hirn سنة 1858 ، حول دهن الرصاص ، وهو معدن لا يمكن تطريقه ، وحول الآلة البخارية ، ثم تجارب ادولف Edlund سنة 1865 حول مد الخيوط المعدنية وتجارب فيول Violle سنة 1870 وهو يستعمل تيارات فوكولت ، وتجارب بيرو Perot سنة 1887 حول حرارة تبخر المياه . وسوف نعالج في المجلد التالي الصيغة التجريدية للمبدأ الذي ظهر سنة 1901 من قبل جان بيرين Perrin ، وكذلك اللاحق الذي استعمله ب . لانجفين Langevin من أجل وضع القوانين العامة في الميكانيك .

الترمو كيمياء : من بين التطبيقات الأخرى العديدة جداً ، في حفظ الطاقة ، نذكر مثل الترمو كيمياء . إن تغير الطاقة الداخلية (وهي مجموع الحرارة والعمل المستعمل شرط التعبير عنها بنفس الوحدة) لا يتعلق إلا بحالة البداية وبحالة النهاية في النظام المنظور . ويثبت ذلك بالنسبة إلى العمل الميكانيكي كل مرة يكون فيها الحجم أو الضغط ثابتاً ، وكذلك الأمر بالنسبة إلى الحرارة . وقد تم العثور على هذه النتيجة بصورة تجريبية من قبل هس Hess سنة 1841 ، حول المثل الخاص المتعلق بحرارات الاشتعال .

وهذا الاكتشاف قد صحح خطأ شائعاً نوعاً ما . وقد كان ما يزال مقبولاً لدى الكيميائي العظيم ليبخ Liebig في سنة 1845 . وبالواقع ، وعلى أثر القياسات الدقيقة بشكل غير كاف والتي قام بها دولسون سنة 1839 ، تم التوصل إلى الاستنتاج بأن حرارة حريق جسم مركب تعادل مجموع حرارات احتراق العناصر التي تشكله . ومبدأ هس قد استخدم دائماً من قبل فافر Favre ومن قبل سيلبرمن Silberman في جملة ملحوظة من القياسات تمت سنة 1852 ، وكاننا أول من استعمل كلمة كالوري للدلالة على وحدة كمية الحرارة .

II - مبدأ كارنوت

إن مبدأ حفظ الطاقة ليس في مجمله إلا التأكيد على استحالة الحركة الدائمة من النمط الأول : ولا يمكن تصور موتور يعمل بدون أن يأخذ شيئاً من الخارج .

والمبدأ الثاني أو مبدأ كارنوت، أو أيضاً مبدأ التطور ، يؤكد على استحالة الحركة الدائمة من النصف الثاني ، ولا يمكن تصور آلة تواترية يكون دورها الوحيد تحويل الحرارة إلى عمل . إن مثل هذا التحول مقترن دائماً بنقل كمية إضافية من الحرارة من درجة أعلى إلى درجة أدنى . وهنا يبرز ما لحظه

نوضح سادي كارنوت ، إلا أنه حتى سنة 1850 قام رودولف كلوسوس (1822 - 1882) ثم ، في سنة 1854 وليام تومسون (لورد كلفن Kelvin فيما بعد ، 1824 - 1907) بإثبات كل أهمية هذا المبدأ ، واستنتج منه كل الاستنتاجات مع اقترانه بكامل عبقرية سادي كارنوت .

دورة كارنوت : إن الطريقة الأبسط في تصور موتور لا يستعمل إلا مصدرين من الحرارة تقوم بالتأكد على ما يلي :

1 - إذا كان هناك كتلة معينة من المائع الموصل بترموستات في درجة حرارة معلومة (t1) (المصدر الساخن) ، يتمدد فيحدث عملاً ما

2 - هذا السائل ، المعزول حرارياً ، يستمر في التمدد (بشكل ثابت الحرارة) مستنداً إلى درجة حرارة (t2) أقل من t1 ، مع إنتاج عمل

3 - وبعدها يوصل بترموستات ذي درجة حرارة t1 (مصدر بارد) ثم يضغط (أي المائع) مع تزويده بالعمل إلى أن يحتل حجماً بحيث :

4 - يقوم تحول جديد ثابت الحرارة فيرده إلى الحالة الأساسية .

هذا المائع يكون بعدها قد احتاز حلقة ، يمكن تكرارها بمقدار الرغبة (وعندها يكون قد تكون موتور بالمعنى المعتاد للكلمة) ، وذلك مع عدم تبادل الحرارة الا بين مصدرين ، ومع إنتاج عمل أعلى من العمل المقدم للموتور في المرحلتين الأخيرتين من الدورة .

وهنا يقع ما يسمى بدورة كارنوت التي يعرف إتاحتها بأنه حاصل العمل المحدث فعلاً بفصل العمل المنحصر عليه عدم إمكانية التحويل الكامل إلى عمل الحرارة المستقرضة من المصدر الحار ، دون وجوب رد قسم منها إلى المصدر البارد. ويقول آخر إذا كانت Q هي الحرارة المأخوذة من المصدر الحار و (Q2) الحرارة المردودة إلى المصدر البارد فإن المنتوج يعبر عنه بما يلي : ($Q_1 - Q_2 / Q_1$) ، وهو دائماً أقل من الوحدة .

ولا يتبع مبدأ كارنوت بشكله الأساسي إلا كتابة « لا معادلتين » ، لأنه يؤكد فقط بأن العمل الذي يقدمه نظام مرتبط بمصدر واحد من الحرارة ، هو بالضرورة عمل سلبي .

والتأمل في التحولات المرتدة ، كما جرى على يد كلايرون Clapeyron (1843) يتيح استخلاص معادلتين من مبدأ كارنوت ، وهو امر جوهري حتى نستطيع قواعد التحليل الرياضي أن تطبق بشكل مشر . ومثل هذا التحول يمكن أن يتحقق في الاتجاهين ومن الواضح أنه إذا كانت هناك دورة قلانة حاصلة بمساعدة مصدر واحد ، فإن العمل المقدم يجب أن يكون باطلاً إذ يجب أن يكون سلبي من وجهة كما من وجهة أخرى سداً للمبدأ الثاني . وهذه الحالة الخصوصية البسيطة جداً والمهمة مع ذلك تدل كيف أن مثل هذه التحولات تنبع كئانة معادلات . وعلى كل يكون من المفيد في أغلب الأحيان التأمل أيضاً في اللامعادلات .

ويتزوج آتين لعملاق وفقاً لحلقة كارنوت ، على أن تكون أحدهما على الأقل انعكاسية ، وتعمل ، ليس بموجب موتور ، بل باتجاه معاكس ، عندها يمكن ترتيب الأمر لكي يبقى المصدر البارد

غير محسوس . عندها يجري كل شيء كما لو كان المصدر الحار وحده عاملاً ، ومن هنا ينتج أن العمل الحاصل بفضل الآلة الأولى (التي يكرر أن تكون غير قابلة للانعكاس) يجب أن يكون مساوياً ، في أقصى حد للعمل المستهلك من قبل الثانية وينتج عن ذلك أن مردود آلة كارنوت يكون في ذروته عندما تكون هذه الآلة قابلة للانعكاس . وإذا كانت الآلتان قابلتين للانعكاس ، فإن مردودهما يجب أن يكون هو ذاته . فهذا المردود يجب أن يكون مستقلاً ، بشكل خاص ، عن طبيعة المائع الذي يتفاعل ، ويجب أن لا يتعلق إلا بدرجات الحرارة بين المصدرين العاملين . وإذا يمكن حساب المردود ، بافتراض أن المائع هو غاز كامل ، ونحصل على هذه النتيجة ، المسماة غالباً « قاعدة كارنوت » ، ومفاد هذه النتيجة هو أن الانتاجية $(Q_1 - Q_2) / Q_1 = (T_1 - T_2) / T_1$ حيث تكون T_1 و T_2 درجتي الحرارة المطلقة المحددة بمعادلة حالة الغازات الكاملة : $p\theta = RT$ (المنشورة سنة 1843 من قبل كلايرون Clapeyron) .

السلم المطلق لدرجات الحرارة : ولكن بدلاً من قياس مردود المونور ذي الغاز الكامل ، يكون من الأنفصل اتباع رأي لورد كلفن . من المعلوم أن الأبعاد هي قابلة للقياس ، وذلك عندما يمكن تعريف - عدا عن مساواة بعدين منها - المجموع أو النسبة بين اثنين منها . ولكن رأينا ان النسبة $(Q_1 - Q_2) / Q_1$ لا تتعلق إلا بدرجة حرارة المصدرين . ويكون الأمر كذلك حتى بالنسبة إلى النسبة Q_1 / Q_2 . وعندها يكون بالإمكان قياس درجات الحرارة إذا وضعنا النسبة Q_1 / Q_2 مساوية لـ T_1 / T_2 التي هي نسبة درجتي حرارة المصدرين . وتستعمل هذه الطريقة في الوقت الحاضر بشكلٍ تزايدٍ عموميته في تعريف سلم مقاييس الحرارة الشرعية .

ومنذ 1924 عرف القانون الألماني العلاقة بين درجتي الحرارة باعتبارها العلاقة بين سخونات مستعملة بآلة حرارية قابلة للانعكاس وتعمل بين درجتي الحرارة المذكورتين . وتكون وحدة مسافة درجة الحرارة مخنارة بحيث يكون الفرق بين درجة غليان الماء وذوبان الثلج مساوياً لثمة . يحدد القانون الفرنسي درجة الحرارة بالرجوع إلى غاز كامل . ورغم وجود تماثل بين السلمين ، فإن التحديد الترموديناميكي يمتاز بأنه يسجل درجة الحرارة على انها مقدار قابل للقياس ، وليس فقط يمكن تعقيبه .

إن المحاضرة العاشرة العامة حول الأوزان والمكاييل (1954) قررت اعتماد التعريف الترموديناميكي (الوحدة تسمى درجة « كلفن » وتُحرف بـ K°) مثبتة ، ليس المسافة بين نقطتين محددتين ، بل نقطة واحدة ثابتة ، النقطة المثلى للماء ، التي يجب أن تكون ، تماماً وبالتحديد $(273.16^\circ K)$. بعد الأخذ باخطاء التجارب التقريبية ثبت عند الرقم $273.15^\circ K$ درجة ذوبان الجليد تحت الضغط الجوي العادي وعند الدرجة $373.15^\circ K$ درجة غليان الماء ، أيضاً تحت الضغط الجوي العادي . واعتبرت درجة الحرارة سلسيوس Celsius ، أي الدرجة المستعملة عادة وكانها درجة الحرارة المطلقة منقوصة بالرقم 273.15 .

القصور الحراري : نظر إلى دورة كارنوت القلابة . ما سبق يسمح لنا بكتابة :

$$(1) \quad Q_1/T_1 + Q_2/T_2 = 0 \quad \text{أو بصورة أفضل أيضاً} \quad Q_1/T_1 - Q_2/T_2 = 0,$$

إذا بدلاً من تمثيل الجارات المقدمة والمأخوذة تبعاً من مصادر الحرارة الحارة والباردة بـ Q_1 و Q_2 فاننا نمثل بهذين الحرفين الحرارة التي يقدمها كل من هذين المصدرين ، مما يوجب ابدال Q_1 بـ $-Q_2$. والآن ننظر إلى دائرة ما ، تشغل عدداً ما من المصادر إنما القلابة . ونستطيع دائماً بعد تقطيعها بمشبات للحرارة ، اعتبار هذا العدد وكأنه تراكم عدد كبير من الدورات المتقاربة جداً من حلقات كارنوت . ودون الالتحاح على التحليل ، الدقيق قليلاً ، نرى أنه إذا جمعنا كل المعادلات (1) في ما خص كل من هذه الدورات محصل على $\oint \frac{dQ}{T} = 0$ ، باعتبار أن المتكاملة تؤخذ على طول الدورة الكاملة . ويستنتج من ذلك بسهولة ان المتكاملة $\oint \frac{dQ}{T}$ المأخوذة ، ليس على طول الدورة ، بل على طول التحول الانقلابي غير المغفل (أي الذي لا تطابق حالته الأساسية وحالته النهائية) ، إن هذه المتكاملة لا ترتبط إلا بالحالتين الأساسية والنهائية من دون الحالات الوسيطة . ويمكن اعتبار هذه المتكاملة وكأنها التعبير بين الحالتين القصويين ، من وظيفة حالة النظام . وإلى هذه الوظيفة ، ذات التعريف الغامض قليلاً اعطى كلوربروس ، في سنة 1865 اسم انتروپيا (Entropie) أو ثبت درجة الحرارة ، رامراً إليها بالحرف S.

وبدلاً من الدورة القلابة ، إذا كان الأمر يتعلق بدورة غير قلابة ، نبين أن المتكاملة $\oint \frac{dQ}{T}$ بدلاً من أن تكون باطلة فهي سلبية . ويتبع عن ذلك أن هذه المتكاملة بالذات المأخوذة على طول التحول غير المغفل ، هي دائماً أصغر عندما يكون التحول غير قلابة ، مما لو كان قلابةً ، أو يقول آخر ان هذه المتكاملة هي على الأكثر تساوي قلب «الانتروپيا» . ولكن إذا نظرنا إلى نظام معزول تماماً وفي حالة تطور يمكننا التأكيد على ما يلي :

1- إن هذا النظام يتطور بشكل غير قلابي .

2- إن كل الكميات من الحرارة (dQ) المستعملة هي باطلة .

وإذا استطعنا تصور تحول ارتدادي له نفس الأطراف التي للتحول الحقيقي (وهو ضروري من أجل تعريف التغير ΔS) في الانتروپيا أو ثبت الحرارة) ، عندها يمكن أن نكتب : $\Delta S < 0$ ، وهذا ما يترجم بقولنا أن انتروپيا نظام معزول لا يمكن أن تتنازل : إنها تتزايد بالنسبة إلى تحول غير ارتدادي وتبقى ثابتة في حال تحول انعكاسي . وهذه القاعدة حول نمو الانتروپيا قد لعبت دوراً رئيسياً في بعض التأملات الفلسفية حول فناء العالم ، وهي تأملات تتركز في الواقع ، ليس فقط حول هذه القاعدة ، بل أيضاً حول هاتين الفرضيتين الإضافيتين :

1- استحالة التنزيل تقتضي بالنسبة إلى « الانتروپيا » وجود ذروة .

2- ان القاعدة يمكن أن تطبق على الكون بأكمله باعتباره نظاماً معزولاً .

ولكن الكون بأكمله هو نظام ليس على مستوانا ، حاله في ذلك كحال الجزية الوحيد ، وسوف نرى أن البداً الأول لا يصحح في هذه الحالة الأخيرة .

الطاقة الحرة : سبق أن عرفنا وظيفتين (ممدتين فقط عند ثابتة اضافية تقريباً) عن حالة نظام ما : الطاقة الداخلية (U) ثم « الانتروپيا » (S) . ويسهل علينا تعريف الكثير منها أيضاً ، بعضها يلعب دوراً رئيسياً .

ومن جراء كون العمل يجب أن يكون معدوماً ، في حلقة قابلة للانعكاس ، لا تستعمل إلا مصدراً واحداً من الحرارة (هو الدور الايزوترمي Isothermique) ، يستتج بسهولة أنه في كل تحول ايزوترمي (غير دوري بالضرورة) لا يتوجب أن يتعلق العمل إلا بالحالات القصوى ، وإذا يمكن اعتباره وكأنه تغير في وظيفة حالة النظام . ولدينا هنا وظيفة جديدة ترموديناميكية (F) اعطيت اسماء متنوعة ، من بينها نختار اسم الطاقة الحرة الذي قال به هلمهولتز . ونسب أيضاً ، أنه ، في التحول المونوترمي غير الانعكاسي يكون العمل (W) المقدم إلى النظام دائماً اعل من العمل المقدم له ضمن تحول ارتدادي له نفس الأطراف أي اعل من تغير الطاقة الحرة (W ≥ ΔF) .

وإذا كان التحول الحقيقي ، اللارتردادي عموماً ، يتم بحجم ثابت ، فالعمل W يكون عدماً ، وعن ذلك ينتج : (ΔF ≤ 0) .

وترجم هذه الواقعة بالقول ان الطاقة الحرة في نظام ما يتفاعل ضمن درجة حرارة وضمن حجم ثابتين ، لا يمكن ان تنامي . ولا يمكنه أن يتناقص أو يبقى ثابتاً إذا كانت التحولات قابلة للارتداد . وهناك نتيجة مهمة لهذه القاعدة هي أنه إذا كانت الطاقة الحرة في نظام محبوس في درجة حرارة وفي حجم ثابتين هي دنيا ، فإن هذا النظام يكون بالضرورة متوازناً ؛ وهي نتيجة تشبه قاعدة ميكانيكية تقول أن الطاقة الكامنة في نظام ميكانيكي متوازن هي دائماً دنيا .

وتتخذ هذه القاعدة أهمية أولية عندما تطبق على انظمة من شأنها ان تكون مركز تفاعلات كيميائية لأنها تعطينا عندئذ معنى واضحاً عن مفهوم «التألف الكيميائي» . واقترح ج. تومسن في سنة 1858 ثم برتيلوت Berthelot في سنة 1865 قياس هذا التألف عن طريق الحرارة المتصاعدة أثناء عملية تفاعل كيميائي ؛ إذ كانا يعتقدان (مبدأ العمل الدروري ، الذي قال به برتيلوت) ، أن كل تفاعل يتحقق عفويًا هو « اكزوترمي » (أي يصعد الحرارة إلى الخارج) . ولكن عندما يحفظ النظام ضمن حجم ثابت ، فالحرارة المتصاعدة تساوي التناقص (ΔU -) من طاقتها الداخلية . ومبدأ برتيلوت يعبر عنه بالامعادلة التالية (ΔU > 0 - أو ΔU < 0) .

في سنة 1882 اشار هلمهولتز إلى أن هذه اللامعادلة ليست من الناحية الترموديناميكية ضرورية ، ولكن اللامعادلة (ΔF < 0) ضرورية . واقترح إذأ قياس التألف الكيميائي بتناقص (ΔF -) من الطاقة الحرة .

وعرف هلمهولتز أيضاً كيف يربط بين (ΔU و ΔF) وذلك حين اقر المعادلة الشهيرة المسماة معادلة هلمهولتز :
$$\Delta U = \Delta F - T \frac{d\Delta F}{dT}$$

إن المشتق الذي يظهر في هذه العبارة يجب ان يؤخذ كحجم ثابت . ونشير إلى أن الطاقة الحرة مرتبطة بالطاقة الداخلية ، وأن « الانتروبيا » مرتبطة بالعلاقة $\Delta S = \frac{\Delta F - \Delta U}{T}$ ، والحرارة والعمل يعبر عنها بنفس الوحدة .

الانتالپيا Enthalpie والانتالپيا الحرة : عندما يبقى النظام - ليس في حجم ثابت - بل في ضغط ثابت ، فإن العمل الذي يأتيه من الخارج ، عندما يتغير حجمه عن (Δv) ، يعادل (p Δv -) أو

بشكل آخر (pv) Δ . وإذا كانت طاقته الداخلية تتراوح بين (ΔU) ، فالحرارة التي يتلقاها هذا النظام تمثل بما يلي : $(\Delta U + pv) = \Delta(U - pv)$ أي تلتفت من كامرلينغ اونس Kamerling Onnes اسم « انتاليا » (أو المحتوى - الحراري) تلعب بالنسبة إلى التغيرات ذات الضغط الثابت ، الدور الذي تلعبه الطاقة الداخلية بالنسبة إلى التحولات ذات الحجم الثابت .

وكذلك الدالة $(G = H - TS)$ تلعب ، بالنسبة إلى هذه التحولات ، نفس الدور الذي تلعبه الطاقة الحرة بالنسبة إلى التحولات ذات الحجم الثابت . وادخلت هذه الوظيفة أساساً ، من قبل جيبس W Gibbs ومن بين الأساء العديدة التي اعطيت لهذه الوظيفة نختار اسم « انتاليا حرة » . وخاصتها الأساسية هي أنها ، في كل تحول حقيقي لنظام ، يحفظ عند درجة حرارة وضغط ثابتين ، يحصل لدينا $\Delta G \leq 0$.

هذه الواقعة تدل بشكل حاسم على أن كل نظام محفوظ عند درجة حرارة وضغط ثابتين ، يبقى متوازناً عندما تكون « انتالياه » الحرة دنيا ، وأنه في ما يخص النظام الكيميائي المتحرك ضمن ضغط ثابت ، يمكن استخدام $(- \Delta G)$ كتعريف للتألف الكيميائي . هذه الازدواجية في التعريفات المتألفة $(- \Delta G - \Delta F)$ بالنسبة إلى التألف ، قد تبدو مزعجة لأول وهلة ؛ ولكنها تدل ببساطة على أنه لا يمكن الكلام عن التألف الضمني في نظام ما ، وأنه من الضروري تثبيت وتحديد الظروف الخارجية المفروضة على هذا النظام (حجم أو ضغط ثابتين) وكذلك إن (حرارات التفاعل لا تكون محددة إلا بعد تثبيت هذه الظروف الخارجية بالذات) . نشير أخيراً إلى علاقة أخرى مماثلة لعلاقة هلمولتز $\Delta H = \Delta G - T \frac{d\Delta G}{dT}$

والمشتق يؤخذ هذه المرة من ضغط ثابت . ونشير أخيراً أنه في سنة 1869 ادخل ماسيو Massieu وظيفتين يمكن أن تؤدي نفس الخدمات التي تؤديها (G) و (F) : حصيلة قسمتهما على درجة الحرارة المطلقة .

مبدأ نرنست : إن الوظيفتين الأساسيتين ، الطاقة الداخلية والانتروبية لا تحدداً إلا ثابتة اصافية تقريبية ، لأن تغيراتها لها اتجاه ترموديناميكي . إن الجمود في الطاقة يتيح تثبيت أساس جديري للانتروبية . وفتح ف. نرنست (1864 - 1941) في سنة 1906 الطريق في هذا الاتجاه واضعاً كمبدأ أن تغير الانتروبية في تحول ما هو معدوم عندما يكون هذا التغير جارياً في حالة الصفر المطلق . وعندها أمكن ربط هذا المبدأ باستحالة الوصول بدقة إلى الصفر المطلق ، بواسطة عدد متناهي من التغيرات وبعد ذلك بقليل عسم ماكس بلانك Max Planck هذا المبدأ مؤكداً على أن « انتروبية » الجسم البقي ، مهما كان ، في حالة التوازن مع الصفر المطلق تكون معدومة ، وهذه الصيغة ارتدت كل قيمتها في ضوء الميكانيك الإحصائي .

III - الحرات الذاتية

ودون التذكير بكل التحسينات المقدمة للقياسات الكالوريمترية ، تتوجب العودة إلى بعض النتائج الحاصلة في هذا المجال ، وبصورة خاصة بشأن قياسات الحرات الذاتية للأجسام البسيطة

الحامدة ، هذه القياسات التي تحققت سنة 1820 على يد دولون Dulong وبيتي Petit .

إن الأوزان الدرية لم تكن يوماً محددة إلاً بدقة ضعيفة ، أما رموز المركبات التي أعطى تحليلها هذه الأوزان الدرية فلم تكن دائماً موثوقة تماماً .

وقد قاس دولون وبيتي ، بكل دقة ممكنة في ذلك الزمن ، الحرارة الذاتية لاثني عشر معدناً ، ولاحظ أن حاصل ضرب الأعداد الخاصة بالأوزان الدرية المنسوبة إلى هذه المعادن ، تقسم إلى مجموعتين : خمسة منها حاصلها يقارب الستة ، أما السبعة الباقية فحاصلها اثنا عشر . وظننا يومئذ أنه يمكن ، نظراً لامكانية ضرب الأوزان الدرية بعدد بسيط دون المساس بأية قاعدة أساسية في الكيمياء ، يمكن عندها احتياز هذه الأوزان بحيث تكون كل الخواصل المشكلة قريبة بعضها من بعض . فاقترحنا عدئذ قسمة لأوزان الدرية في السبعة الأخيرة بآثني . وهذه الأجسام الأخيرة بسيطة هي الرصاص والذهب والقصدير والرنك والتلور Tellure والبيكل والحديد . تلك هي نشأة قانون دولون وبيتي ، ولنا عودة إليه .

هناك رعة احسام بسيطة هي الهليوم والبوريك والكربون والسليسيوم ، يبدو انها لا تخضع لهذا القانون (وحصيلته ضرب حرارتها النوعية بوزنها الذري يقل كثيراً عن 6) ولكن إقياسات التي اجراها هـ. فيير (1875) دلت عل أن الحرارة الذاتية لهذه الأجسام تتغير مع درجة الحرارة نازعة نحو قيمة قصوى تحقق قانون دولون وبيتي . وتساوفاً مع هذا ، فالقياسات ، عند درجات حرارة منخفضة جداً ، والتي قام بها ترست وتلامذته دلت ، بالسبة إلى كل الأجسام أن الحرارة النوعية هي وظيفة متنازلة أي ذات علاقة متنازلة تتسارل درجة الحرارة النازعة نحو الصفر عند الاقتراب من الصفر المطلق . ويذكر أحياناً أن كوب Kopp بين في سنة 1864 تقريباً أن الحرارة الجزئية (وهي حصيله ضرب الحرارة النوعية بالكتلة الجزئية للأجسام المركبة الحامدة) تساوي بشكل محسوس مجموع الحرارة الدرية للأجسام البسيطة التي تركب هذه الأجسام المركبة (وهذه خاصة اضافية) .

IV - الغازات الحقيقية ، وتسييل الغازات

إن قانون بويل - ماريوت قد قبل لمدة طويلة ، وفي بداية القرن التاسع عشر فقط دلت تجارب أكثر دقة قام بها ارستيد Ersted وسوينسون Suenson ، واثبتتها تجارب دبرتز Despretz وبويه Pouillet ، دلت بدون نزاع أن الأيدير الكبريتي أكثر قابلية للضغط من الهواء ، ولكن كان لا بد من انتظار رينيو لتقرير أن الهواء بالذات لا يتضغط كما يقول قانون بويل وماريوت . وإذا كان لا بد من البحث في استبدال « معادلة حالة » $(pv = RT)$ ، في الغازات الكاملة بمعادلة أكثر تعقيداً تعطي فكرة أوضح عن الوقائع التجريبية .

معادلة فان در ولز Van der Waals : سبق في سنة 1864 أن اشار آتanas دوري Athanase Dupré إلى أنه ، تحت ضغط كبير جداً ، لا يمكن لحجم الغاز أن ينتجه نحو الصفر كما يقول قانون بويل ماريوت ، إذ لا يمكن اختزال هذا الحجم إلى قيمة أقل من القيمة التي تعادل تراكماً للجزيئات المكونة . وإذا سمينا (b) هذا الحجم الحقيقي للجزيئات ، فيجب أن ننص $(v - b)$ بدلاً من (v) .

ولكن بما أنه توجد غازات تخضع بشكل محسوس لقانون (بويل ماريوت) فمن الواجب ، بالتسابق ، ادخال ضغط داخلي (π) يضاف إلى الضغط الخارجي (p) ثم كتابة : $(p + \pi)(v - b) = RT$.
وافترض هيرن Hirm أن (π) يجب أن تكون ثابتة . ولكن المعادلة التي تمثل الحالة الحاصلة ، لن تعد مرضية حالها في ذلك كحالة معادلة الغازات الكاملة . وفي سنة 1873 اقترح فان در وولز Waals (1837 - 1923) المعادلة التي تحمل اسمه : $(p + \frac{a}{v^2})(v - b) = RT$

إن الحجم المائل (h) قد أدخل بعد الاستعانة بالنظرية الحركية للغازات ، مما اتاح تبين وجوب تمثيله لمربع الحجم الحقيقي للجزيئات وليس هذا الحجم الحقيقي كما قال به ديسري Dupré . اما الضغط الداخلي ($\frac{a}{v^2}$) ، فيدخل كتعميم لأفكار لابلاس حول التوتر السطحي .

وإذا مثلنا بشكل غرافي ، الضغط (p) تبعاً للحجم (v) (دياغرام كلايرون Clapeyron ، ملاحظ أن المنحنى له مظهران مختلفان تبعاً لقيمة درجة الحرارة T . وللتبين من ذلك يمكن البحث عن قيمة v ، عندما نختار بصورة كيفية T و p . إن معادلة فان در وولز Waals يمكن أن نكتب :

$$pv^3 - (RT + bp)v^2 + av - ab = 0$$

ويجب حل معادلة من الدرجة الثالثة

وإذا كانت T كبيرة أي أعلى من R ; $27 \frac{a}{b}$ لا يكون للمعادلة سوى جذر وحيد وينزل المنحنى التمثيلي بنظام مذكراً بشكل القطع الزائد . أما إذا كانت T أصغر من $(\frac{27}{8} \frac{a}{b} R)$ فالمعادلة لها ثلاثة جذور حقيقية . وتكون p كبيرة جداً عندما تكون v صغيرة فتبدأ بالتناقص ، ثم الحضيض ، وتزيد فتنتقل إلى الذروة ، ثم تبدأ من جديد بالتناقص حتى تقارب الصفر عندما تزداد v بشكل لا حد له . وإذا كان تعبیر فان در وولز لا يختلف كثيراً عن تعبیر بويل ماريوت ، بالنسبة إلى القيم الكبيرة لـ v ويمكنه بالتالي أن يمثل مضغوطة الغاز (فالقسم من المنحنى الواقع قبل الحضيض ، والمطابق بالتالي للقيم المتدنية من v ، فهو لا يمكن أن يمثل إلا مائعاً قليل الانضغاط جداً .

ولكن اندروز بين أن بعض الغازات مثل الآينديريد كربونيك يمكن أن تنتقل إلى حالة السيولة بمجرد الضغط . والظاهرة هذه تمثل بموجب دياغرام كلايرون Clapeyron ، بشكل خط افقي ويتوجب إذا ، برأي فان در وولز قطع المنحنى النظري واستبداله بقسم افقي .

الحالة الدقيقة أو الحالة الحرجة أو الحالة الانتقادية : وكنتيحة لتجارب اندروز ، ادخل هذا مفهوم « الحرارة بدرجتها الحساسة » . إذا كان الغاز كربونيك يتسبل بالضغط البسيط تحت درجة $31,3^{\circ}C$ ، فهذا التحول مستحيل فوق هذه الدرجة . وعلى نفس النسق ، وكما بين ذلك اندروز وفان در وولز Waals ، يجب أن تكون هناك استمرارية بين حالة السيولة وحالة الغازية . نأخذ مثلاً الغاز كربونيك بدرجة $20^{\circ}C$) تحت الضغط الجوي العادي ! ويضغط العمار يمكن تسبيله : وبلاحظ وجود « مصطبة تسبيل » ، والضغط يكون عندئذ 56.3 جوية . وعندما يتسبل الغاز تماماً ، فبالامكان من جديد زيادة الضغط مع قليل من تناقص الحجم ، حتى الوصول مثلاً إلى 60 جوية ، وتكون درجة الحرارة دائماً $20^{\circ}C$. ولكن يمكن رد الغاز كربونيك إلى نفس هذه الحالة النهائية دون ملاحظة وجود مصطبة تسبيل . وانطلاقاً من $20^{\circ}C$ يمكننا تسخين الغاز تحت ضغط ثابت حتى الدرجة $40^{\circ}C$ مثلاً وهي درجة حرارة أعلى من الدرجة الحرارية الحساسة أو الحرجة ، ثم الضغط حتى 60 جوية وأخيراً

اعادة التبريد ، تحت الضغط الثابت حتى 20°C : عندها نحصل على نفس السائل دون ملاحظة وجود مرحلتين مميزتين ، وهذا ما يميز ظاهرة التسييل .

إن مفهوم درجة الحرارة الحرجة أو الحساسة يجرنا إلى مفهوم « النقطة الحرجة » . إذ إذا ضغطنا غازاً بدرجة حرارة اخف بقليل من درجة الحرارة الحرجة ، نلاحظ وجود مصطفية تسييل قصيرة جداً . وهذا يعني أنه عند درجة الحرارة الحرجة بالذات ، يجب رد الغاز إلى نقطة ما ثم مطابقة ضغط معين تماماً ، وهو ما يسمى بالضغط الحرج . إن الحجم المطابق هو الحجم الحرجي .

قانون الحالات المطابقة : عندما تكون درجة الحرارة الحرجة T_c محددة تبعاً للمعايير (بارامترات) a, b و R الظاهرة في معادلة فان در وولز ($T_c = 8a/27bR$) يمكن تحديد الضغط والحجم الحرجين p_c و v_c : $p_c = a/27b^2$; $v_c = 3b$.

في سنة 1880 خطرل فان در وولز أن يستخدم ، بالعكس من ذلك ، المعطيات الحرجة لحساب المعايير البارامترات R, b, a ثم إبدال قيمها في معادلة الحالة . في هذه الحالة لا تستخدم المعادلة المكتوبة إلا النسب : $p/p_c, T/T_c$ و v/v_c والمسماة احداتيات مختصرة .

إذا افترضنا $T/T_c = \theta, p/p_c = \phi, v/v_c = \varphi$ نحصل على المعادلة الموجزة التي قال بها فان در وولز : $\theta = (1 - \frac{3}{\varphi}) (\frac{3}{\varphi} + \frac{1}{\varphi^2})$ هذه المعادلة المختصرة تصح لكل الغازات ويستنتج من ذلك أنه إذا كان هناك غازان ، في حالات متطابقة ، أي إذا كانت درجات الحرارة والضغط كسوراً متساوية من درجات الحرارة ، ومن الضغوطات الحرجة ، فإن أحجامها تكون أيضاً كسوراً تساوي أحجامها الحرجة .

فضلاً عن ذلك يمكن تبين أن صلاحية هذه النتيجة تتعلق فقط بكون معادلة الحالة تتضمن ثلاثة معايير بارامترات ، ولا تتعلق بالشكل الخاص الذي اختاره فان در وولز . ونفهم إذاً أن قانون الحالات المتطابقة يتحقق بصورة أفضل من تحقق معادلة فان در وولز كما أثبت ذلك بشكل خاص أعمال أماغات Amagat . وعلى كل لم يظهر أن معادلة فان در وولز كانت مرضية وكافية لتمثيل الأحداث التجريبية ، فاقترح معادلات أخرى كثيرة من بينها معادلة كلوزيوس التي تمتاز ببعض المزايا : $RT(v - \phi) = \left[p + \frac{a}{T(v + b)} \right]$ حيث $b = 0$ صفراً في أغلب الأحيان .

الحصول على درجات منخفضة : إن الطرق الأكثر استخداماً منذ القديم ، من أجل خفض درجات الحرارة كانت تقوم على استعمال الخلائط المبردة مثل الثلج والملح ومثل تبريد السوائل الخفيفة مثل الأثير . وإمكانية تسييل الغازات مثل الاينديروكاريونيك ، والآنديريد الكبريتي اتاحت توسيع هذه الطريقة الأخيرة ، إنما كان لا بد من إمكانية الحصول على درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة . وتمّ تقديم كبير في الحصول على درجات حرارة منخفضة في سنة 1852 وذلك بفضل اكتشاف جول و . طومسون للمفعول الذي يحمل إسمهها . ويمكن قلب الصيغة . (صيغة قانون جول) المذكورة سابقاً . بقولنا بأن التمدد ، ضمن طاقة داخلية ثابتة ، لغاز كامل ، لا يقتصر بأي تفسير في درجة الحرارة . ولكن الأمر يختلف بالنسبة إلى غاز حقيقي ، ومن الممكن اثبات أن درجة حرارة غاز

تبرد قليلاً أثناء تمدده عند طاقة داخلية ثابتة ، مع خضوعه مثلاً لمعادلة فان درولز أو لمعادلة كلوزيوس .

وتقوم فكرة جول وتومسن على افتعال تمدد الغاز في حالة « انتالبيا » $enthalpie$ ثابتة ، مما يعني اجبار هذا الغاز على القيام بعمل وهو يتمدد ، في حين أن هذا التمدد في الحالة السابقة يتم بدون عمل خارجي . وبالإمكان ، في حالة فان درولز ، تبين وجوب وجود تبريد اهم من التبريد في الحالة السابقة . وبالعكس إذا استعملنا معادلة كلوزيوس ، نلاحظ امكانية وجود تبريد مهم ، إذا كانت درجة الحرارة الأساسية منخفضة نوعاً ما ، إما قد يكون هناك تسخين إذا كانت درجة الحرارة أكثر ارتفاعاً . ويقول آخر هناك درجة حرارة « انقلابية » فوقها لا يمكن تبريد الغاز بالتبريد . ولكن ، وهذا ما حدث في تجارب جول وتومسون بالذات ، إذ ، بالنسبة إلى الأندريد كربونيك في درجة حرارة عادية يعطي التمدد من 2 إلى 1 جوية انخفاضاً في درجة الحرارة يعادل $0.26^{\circ}C$ ، في حين انه بالنسبة إلى الهيدروجين ، يحدث هذا التمدد تسخيناً ضعيفاً . هذه التجارب ، وكذلك معادلة كلوزيوس تدل على ان خفض الحرارة المرتقب يكون اكبر كلما كانت درجة الحرارة الأساسية أكثر انخفاضاً .

وبالارتكاز إلى معقول جول تومسون ، تم بنجاح ، بخلال القرن التاسع عشر ، اقامة صناعة كاملة تيريدية محكومة باسماء ليند Linde وهورج كلود Georges Claude اما المراحل المهمة في التقدم في هذا المجال فهي تسييل الأوكسجين والأزوت والغازات المسماة « الدائمة » ، وفي سنة 1883 برزت اسماء روبليسكي وأوليسكي في تسييل الهيدروجين ، الذي تحقق لأول مرة بكميات مهمة على يد جامس ديوار Dewar سنة 1898 ، وأخيراً ، سنة 1908 تسييل كامرلين اونس . وآخر الغازات الدائمة « سائل » ، وتمّ عليانه تحت ضغط منخفض مما اتاح الحصول على : $0.7K^{\circ}$.

ونرى في المجلد التالي انه قد امكن تحقيق درجات حرارة اقرب إلى الصفر وذلك باستعمال نزع المغنطة اديابيتيا [أي بدرجة حرارة ثابتة] وذلك في المواد متوازية المغناطيسية .

٧ - المحاليل

إن ظاهرة التدويب معروفة منذ القدم ؛ وكذلك الحال بوجود حالة اشباع ، ومن هنا ينتج حالاً مفهوم معامل الذوبان . إن تحديد هذه المعاملات ، كان موضوع العديد من الأعمال . ولكن هذه القياسات وكذلك تثبيت بعض نتائج مبادئ الترموديناميك ، نشأها ، قلما يكون له جدوى من حيث النظر إلى تطور الأفكار .

قوانين الامتصاص (الاوسموز) : وبالمقابل بدت دراسة المذويات الموسعة ذات اهمية قوية والحدث الكبير الاول كان اثبات ظاهرة الاوسموز [الامتصاص] من قبل ديتروشي Dutrochet سنة 1827 من اجل هذا ملا ديتروشي بالماء المالح مثانة تخزير مخيطة على انبوب من الزجاج . وعد تغطيس هذه المثانة في الماء النقي ، وكان الأنبوب مدعماً بشكل عامودي ، شوهد السائل يرتفع فجأة في الأنبوب ، حتى الطفق احياناً مما يدل على أن الماء قد غرق المثانة - وهذا ليس بأمر عجيب - ولكن قوانين الهيدروستاتيك لم تطبق . ولوحظ وجود فرق في المستوى ، بين ماء الأنبوب والماء الكائن في الخارج .

إن هذه التجربة بعد تغييرها بشكل ملائم ولدت التحال (dialyse) المسطوح من قبل دوبرونفوت Dubrunfaut في الصناعة السكرية (1854). وفي سنة 1877 لاحظ ميفر Pfeffer أن الخلية النباتية الفنية تنتفخ في الماء النقي وتقلص في الماء الشديد الملوحة. ولما كان البروتوبلاسم يبقى داخل الخلية، فإن العملية تقتصر على احتياز الغشاء الخلوي بالماء في الاتجاهين: وهذا الغشاء يشكل غشاة نصف شفافة. وحقق ميفر Pfeffer إيجاد أغشية نصف نفاذة اصطناعياً وذلك بترسيب مادة سيانور الحديد النحاسي داخل عشاء مسامي، وكرر بواسطة هذه الأغشية تجربة ديتروشي. ولاحظ وجود توازن حقيقي، واستطاع قياس اختلاف المستوى بدقة، بين السائل الذي يعلو اناء بيفر والماء الخارجي بالنسبة إلى هذا الوعاء: كما قاس تفاوت المستوى الضغط الامتصاصي.

إن نتائج القياسات في الضغط الامتصاصي قد لخصت في سنة 1884 من قبل فانت هوف (1852 - 1911) في القانونين التاليين:

- 1- أن الضغط الامتصاصي يتناسب مع التركيز إذا بقيت درجة الحرارة ثابتة.
- 2- يتناسب الضغط الامتصاصي مع درجة الحرارة المطلقة إذا بقي التركيز ثابتاً.

وتركيز ذوب ما يتناسب عكسياً مع حجم الذوب المحتوي على كتلة معينة من الجسم المذوب. ويتبين بسهولة أن هذين القانونين هما مثيلاً لقانون بويل - ماريوت وقانون غي لوساك. ويقول آخر إذا رمزنا بدلالة الضغط الامتصاصي و (v) إلى حجم الذوب المحتوي على كمية معينة من الجسم المذوب و (T) إلى درجة الحرارة المطلقة و (K) إلى الثابتة، نتحصل لدينا المعادلة التالية:

$$KT = \theta \text{ التي تشبه معادلة حالة الغازات الكاملة مشابهة جلية.}$$

وفي سنة 1883 بين ه. دي فري Vries أنه، في درجة حرارة واحدة، تكون الأذواب التي يمكن تعطيس حلية نباتية فيها، دون أن تنتفخ أو تقلص (مما يثبت أن الضغط الامتصاصي يكون واحداً داخل الخلية وخارجها)، ذات تركيز خلوي واحد (إيزوتونيك).

هذه الملاحظة اتاحت لفانت هوف أن يمتاز خطوة جديدة. ففكر في سنة 1885 بأن الثابتة K في المعادلة السابقة يجب أن تكون هي ذاتها بالنسبة إلى كل المحاليل، شرط أن يكون الحجم (v) هو حجم مذيب يتضمن خلية في كل غرام من الجسم المذاب. وإتاح له التحليل كترموديناميكي أن يبين أن الأمر يجب أن يكون هكذا، إذا كان الجسم المذوب غازاً يخضع لقانون هنري (أي بحيث يكون تركيز الذوب متناسباً مع ضغط الغاز المتوازن مع هذا التركيز) وأن تكون الثابتة معادلة لثابتة الغازات الكاملة (R). ولخص كل هذا بقوله أن الأذواب يجب أن تخضع ليس فقط لقوانين بويل - ماريوت وغي لوساك بل وايضاً لقانون أفروغادرو Avogadro. وقياسات الضغوطات الامتصاصية (اوسموتيك) تتيح إذا الوصول إلى الأوزان الجزيئية كما إلى قياسات الثقل النوعي للبخار.

قوانين راوولت: سبق أن بين بلاغدن Blagden في سنة 1788 أن الذوب المائي الخفيف يتجمد بدرجة حرارة تحت صفر درجة مئوية (درجة حرارة تجميد الماء النقي) وأن انخفاض نقطة التجمد تتناسب عكساً مع تركيز الذوب. وقد درس العديد من المجرىين هذه المسألة ثم، في سنة 1871، 1872 بين كويت أن ما يسمى «انخفاضاً ذرياً» الحاصل من ضرب الوزن الجزيئي للملح المذاب بالخفض

الناتج عن تذويب غرام واحد من الملح في مئة غرام ماء ، هو ذاته تماماً بالنسبة إلى عدة أملاح من ذات النوع ومن ذات التركيب .

وقد أوضح فرانسوا ماري راوولت Raoult (1830 - 1901) - وهو يجرب ابتداءً من سنة 1870 - المسألة تماماً . وقد خصّ عدداً كبيراً من القياسات بالشكل التالي (1882 - 1883) :

نفترض أن (P) هي وزن مادة الأثير المذاب في مئة غرام من المذيب وان (C) هي انخفاض نقطة التجمد الملائمة ان الحصلة C/P ، ويسمى « معامل الخفض غير الصافي في المادة المذوبة » تمثل - إذا كان قانون بلاغدين Blagden قابلاً للتطبيق - خفض نقطة التجمد المحدثة في غرام واحد من المادة داخل مئة غرام من المذيب ، وان حصيلتها مضروبة بالوزن الجزيئي (M) يعطي « الخفض الجزيئي الحقيقي » (1) . وإذا لم ينحس الجسم لقانون بلاغدين ، يتم الحصول على هذا الخفض الجزيئي الحقيقي برسم محلي M ضرب C/P بحسب P بعد تكثيف النتائج حتى تصبح $0 = P$. يكفي على العموم أن يكون الذوب خفيفاً حتى تصبح C قريبة من درجة مئوية واحدة ، بحيث يمكن كتابة المعادلة : $\epsilon = \frac{C}{P} \times M$.

ويعلم القانون ان الخفض الجزيئي رهن بالمذيب ، إنما بالنسبة إلى مذيب معين ، يبقى هذا الخفض هو نفسه في مجموعات من المركبات العديدة والمحددة تماماً . وقيم هذا الخفض محددة تحديداً كفاً الأمر الذي حل راوولت على اقتراح تطبيق هذا القانون في تحديد الأوزان الذرية ، بطريقة استعملت في شكل واسع تحت اسم كروبوسكوي أو كروبوميري أي الفحص القرّي .

في مذكرته لسنة 1885 حول الضغط الامتصاصي الاوسموتكي ، حسب فانت هوف بواسطة التحليل الترموديناميكي ، الخفض الجزيئي (t) عند راوولت : $t = 0.01976T^2/W$. حيث تمثل T درجة الحرارة المطلقة لتجمد المذيب البقي و (W) الحرارة الكامنة للمذيب مقدرة بالكالوريات في الكيلوغرام . إن تناسب مع الأرقام التي عثر عليها راوولت بدا ملحوظاً عندما نأخذ كمذيب الماء والأسيد أسيتيك ، والأسيد فورميك ، والبزين ، والنيترو بنزين ، وهي اجسام تُعرف فيها t ، و T و W أما البيرومور الايتليني (من ايتلين) غير المعروفة حرارته الكامنة عند الذوبان ، ومع افتراض صحة العلاقة السابقة ، قدر راوولت هذه الحرارة الكامنة W بـ 13.2 كالوري . وكان الثابت التجريبي ، الذي قام به الكيميائي السويدي بيترسون بالغ الدلالة : أعطت التجارب الثلاث : 12.89 ، 12.88 ، 13.05 .

وبعد سنة 1886 ، وبالنظر إلى مسألة الفحص القرّي الموضحة بما فيه الكفاية عالج راوولت ما دعي ، سنداً لاقتراح رينيو ، نقطة الإنطلاق في بحثه حول الأذواب ، أي معرفة ضغوطاتها في حالة البخار. وقد استعمل بحسب الحالات ، طريقتين سماهما ستاتيك وديناميك . وتقوم الأولى على قياس فعل لضغوطات بخار الأذواب . والثانية قياس ارتفاع نقطة الذوبان في هذه الأذواب . وهما الطريقتان اللتان نسميهما الآن « تونومتري » Tonométrie (وهو تمييز وحيد اعتمدته راوولت في الحالتين) ثم « ابلوسكوبي » ebullioscopie أو تسجيل درجة الغليان] . وبين راوولت Raoult الرابط النظري الوثيق جداً بين الطريقتين ، وقرر بنفس العناية

القوانين التي تحمل اسمه. فبالنسبة إلى ابيلوسكوبي ، يوجد أيضاً ارتفاع جزئي محدد جداً تقدمه أيضاً الصيغة التي وضعها فانت هوف ، شرط أن تؤخذ (T) كدرجة الحرارة المطلقة عند الغليان ، وأن يؤخذ (W) بمثابة الحرارة الكامنة في حالة تبخر . وبالنسبة إلى التوبومستري ، بين أن انخفاض « النسبي » في ضغط البخار (أي حاصل قسمة انخفاض بالذات على ضغط بخار الذوب النقي) يعادل حاصل قسمة عدد الحزبئات في الجسم المذاب بالعدد الاجمالي للجزيئات ، سواء بالنسبة إلى المذيب أو الجسم المذاب. واقترح راوولت استعمال هذه القوانين من اجل تحديد الأوزان الجزيئية .

VI - التوصيل الحراري

عندما يكون قصيب معدني ذو مقطع (S) غير ذي حرارة موحدة ، فدرجة الحرارة (T) في نقطة ما منه هي دالة مستمرة (بالمعنى الرياضي) للسبني x مقاساً على طول القصيب ، ويفترض بسهولة أن هذه الدالة يجب أن تقبل مشتقاً dT/dx (derivée) . وهذا المشتق ، إذا تغيرت اشارته هو ما يسمى بالممال (أي فرق الضغط الجوي الحاصل بين نقطة معينة ومحور الاعصار ، أو تبدل الجهد بين نقطتين) في درجة الحرارة . . ومن جهة أخرى تكون الحرارة المنقولة عبر القصيب من الطرف الأكثر حرارة نحو الطرف الأكثر برودة أي بالاتجاه الذي تكون فيه dT/dx سلبية أي يكون الممال فيه ايجابياً . وإذا لم تتغير درجة الحرارة بسرعة كبيرة يمكن القول أن الحرارة التي تجتاز مقطعاً معيناً من القصيب (سطحه S) خلال وقت قصير جداً dt متناسبة مع (S) ، ومع الممال لدرجة الحرارة ومع dt . إن العامل التناسبي هو الطاقة التوصيلية الحرارية (أو الكالوريفيك) .

وعلى هذا القانون وضع ج. ب. بيوت في سنة 1804 ، ثم بشكل نهائي فوريه ، سنة 1807 و 1811 قابول لتوصيل الحراري . والأمراً يتعلق هنا بطريقة شكلية خالصة ، تكون مهمة بشكل خاص من ناحية التحليل الرياضي ، ولو بادخال سلسلة فوريه ومتكاملة فوريه اللتين لعبتا دوراً رئيسياً في نظرية كل الطاهرات التارجية

في سنة 1853 تحدد الرابط الموحد بين التوصيل الحراري والتوصيل الكهربائي ، بقانون ويدمان وفيرر هذا القانون الذي يؤكد أن التوصيلين هما على علاقة ثابتة : فالأجسام الحسنة التوصيل للكهرباء هي أيضاً الأجسام الحسنة التوصيل للحرارة .

وتأويل هذا القانون لم يكن ممكناً إلا على أساس نظرية الألكترونات . ونقول باختصار إذا قبلنا بوجود الكثرونات حرة تقريباً داخل معدني ما فإن التوصيل الكهربائي ينتج عن نقل شحنتها ، وإن التوصيل الحراري ينتج عن نقل طاقتها الحركية وبدل الحساب عندئذ على وجوب وجود علاقة ثابتة بين التوصيليتين (تتناسب مع درجة الحرارة المطلقة) على الأقل عند التقريب الأول . والواقع أن هذه العلاقة يجب أن تتعلق ، بشكل معقد ، « بالसार الحر الوسطي » للألكترونات ، وهذا السار لا نعرف عنه شيئاً كثيراً .

VII - الطاقة المشعة

إن التأملات الأولى فيها يتعلق بوجود اشعاع حراري تعود إلى شيل Scheele وبيكتت Pictet ،

ولكن بريفوست Prévost هو الذي اصدر سنة 1791 الفكرة الخصبة بأن كل جسم يشع الطاقة بشكل مستقل عن محيطه ، وبالضبط كما لو أن هذا المحيط غير موجود . وعندما يبدو مطلق جسم مشعاً ، فذلك لأنه يعطي أكثر مما يأخذ ، وعندما يبدو في حالة توازن مع الوسط الخارجي فذلك يعني أنه يشع من الطاقة بمقدار ما يأخذ . وهذا يعني ابدال مفهوم ستاتيكي للتوازن بمفهوم ديناميكي . ويصبح من الممكن معالجة جسم يمتص الاشعاع ، كالجسم الذي يبت البرد ، مما يوحي بوجود علاقة وثيقة بين بث الاشعاع وامتصاصه .

وفي سنة 1801 بدى بعوي وحدة الطيف ، أي ملاحظة أن الاشعاع الحراري لا يتميز عن الاشعاع المرئي . وهذا التاريخ استطاع و. هرشل وهو يقل ترمومتراً داخل الطيف المرئي ، واعد من الأحمر ، فاكشف ما يسمى « تحت الأحمر » ، والذي يجب أن ينلمح مع الاشعاع الحراري المعتبر سابقاً . وفي سنة 1803 بين سوسور Saussure ويكت أن هذه الأشعة الغامضة تنعكس وتنكسر مثل الضوء المرئي . وابتداءً من ذلك الوقت فإن دراسة الاشعاع الحراري لم تعد إلا دراسة الخصائص الحرارية للاشعاع عموماً ، هذه الدراسة التي اصبحت فرعاً من علم البصريات واصبحت تستفيد من كل التقدم الحاصل في هذا العلم .

قانون كيرشوف Kirchhoff : في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، عندما حقق علم البصريات والترموديناميك تقدماً ضخماً ، اصبح من الطبيعي مزج المعارف التي حققها كل من هذين العلمين ، في المجال المشترك بينهما ، أي دراسة الاشعاع الحراري . وقد تبين أن هذا التلاحم مشعر بشكل عجيب ، إذ في النهاية هو الذي حقق اكتشاف الكائنا . كل هذه الدراسات كانت محكومة باسم « كيرشهوف » الذي وضع موضع التنفيذ وبصورة منهجية سنة 1859 ، افكار بريفوست ، المار ذكرها . وهذا هو مبدأ تبييناته :

إذا تلقت صفيحة صغيرة من مادة ما شعاعاً ضوئياً ذا اتجاه معين ، وذا زخم (I) وإذا رمزنا بحرف (a) إلى القوة الماصة في هذا الجسم (وهذا يعني أنه يمتص ، بخلاف كل ثانية ، الطاقة aI) ؛ وإذا ارسلت هذه الصفيحة ، بخلاف ثانية أيضاً ، وبالاتجاه المعاكس اشعاعاً زخمه (I') ، يتوجب علينا أن نكتب شرط التوازن كما يلي $I' = aI$ أو أيضاً $I' = \frac{I}{a}$.

ونستبدل الصفيحة السابقة بصفيحة أخرى ، من ذات الحجم ، ونضعها بنفس الموضع إنمّا من مادة مختلفة . ونفترض أن a و I' يمثلان القدرة الماصة والزخم المنبثق عن هذه الصفيحة الجديدة ؛ فيكون لدينا أيضاً $I' / a = I_1 / a_1$.

و I هي ذاتها في الحالتين لأنها الزخم النازل . ونستنتج من ذلك أن النسبة I'/a يجب أن تكون مستقلة عن طبيعة الصفيحة المنظورة . ويمكننا بكل تأكيد استبدال I' بحاصل قسمتها على مساحة الصفيحة ، أي الطاقة الماثرة على وحدة المساحة .

وهكذا نصل إلى هذه النتيجة المهمة وهي أن حاصل قسمة « القدرة الارشالية » على القدرة الماصة لا تتعلق بطبيعة الجسم المرسل .

النتيجة التكمال أو الجسم الأسود : هذا الاكتشاف اعطى أهمية خاصة لكل جسم تكون قدرته

الماسة (a)، بالنسبة إلى كل طول موجة، وكل اتجاه وفي أي درجة حرارة، مساوية للوحدة. إن مثل هذا الجسم هو الذي يطلق عليه اسم الجسم الأسود أو المثلي الكامل. وأشار كيرشوف بأن اشعاع الجسم الأسود يجب أن يكون الاشعاع الذي يحصل عفويًا في كل جوف فارغ مغلق وغير مسرب للاشعاع محفوظاً بدرجة حرارة ثابتة. وقارن كيرشوف اشعاع جسمين أسودين (بنفس درجة الحرارة) يشعان أحدهما تجاه الآخر، فبين عندئذ أن زخم الاشعاع الصادر في اتجاه معين يجب أن يكون مساوياً لحاصل ضرب الزخم الصادر عادة عن جيب تمام (cosinus) الزاوية المتكونة من العمودي ومن اتجاه الاشعاع: أنه « قانون جيب التمام » المستخرج سنة 1760 من قبل لامبير حول القياسات التجريبية. وتقرر مذكرة كيرشوف أن قانون لامبير هذا لا يصلح بكل دقة إلا بالنسبة إلى الجسم الأسود.

وأخيراً بين أنه إذا وضع الجسم الأسود، لا في الفراغ بل في وسط ذي درجة انكسارية (n)، فإن قدرته البتية تضرب بـ (n^2) .

انعكاس الأشعة. وهناك نتيجة بارزة نوعاً ما صدرت عن قانون كيرشوف وقوامها أن مطلق جسم يثب بصورة فضل الضوء الذي له فيه قوة امتصاصية قصوى، أي الضوء الذي من شأنه امتصاصه.

نحن نعلم أنه إذا ادخلنا قليلاً من كلورور السديوم، مثلاً، في لهب حرق بونس Bunsen، يصبح اللهب أصفر ثم بعد تفحصه في السبكتروسكوب يعطي شعاعاً أصفر براقاً نوعاً ما. ونجد هنا إذاً ضوءاً يستطيع بخار الكلورور السديوم أن يثبه، وسدأ لقانون كيرشوف، فإنه يستطيع امتصاصه، وامتصاصه بقوة. وإذا فلنمرر ضوءاً أبيض قوي الزخم عبر هذا اللهب. وفي ما حص أطوال الموجة المجاورة يكون الامتصاص غير ذي قيمة، أما فيما حص الشعاع المميز بالذات فالامتصاص يكون شبه كامل. ويكون بالتأكيد الضوء الميثوث باللهب بالذات ولكن زخمه قد يكون أصغر بكثير من الزخم الممتص، والشعاع المقصود يبدو قائماً فوق عمق منير.

هذه الظاهرة المسماة « انقلاب الأشعة » والمكتشفة من قبل كيرشوف بالتعاون مع مونسن قد فسرت هكذا تماماً. وبذات الوقت فسرت أيضاً الواقعة التي رصدها فرونهوفر Fraunhofer سنة 1817، ومغادها أن الخطوط القائمة في الطيف الشمسي تتوافق مع خطوط البث في الغازات والأبخرة المعروفة تماماً. فتح هذا الاكتشاف السبيل الجديد أمام علم الفلك الفيزيائي.

وظهر مفهوم الجسم الأسود، لمدة طويلة وكأنه مجرد رؤية في الفكر. وفي سنة 1895 فقط نجح لومر Lummer ووين Wien أن يثبها فتحة صغيرة جداً في تحويف مغلق محفوظ في درجة حرارة ثابتة. وبعدها امكن اخذ قياسات دقيقة لاشعاع الجسم الأسود.

قانون ستيفان Stefan: في سنة 1879 فرج. ستيفن (1835 - 1893) القياسات التي قام بها فيزيائيون آخرون ووضع القانون الذي يحمل اسمه (مقروناً في أغلب الأحيان باسم بولتزمان Boltzmann) ويوجبه تتناسب الطاقة الشاملة الميثوثة من قبل جسم أسود في ثانية من الزمن مع المثلث الرابع لدرجة الحرارة المطلقة لهذا الجسم.

وطبق مارتولي مبادئ الترموديناميك على الاشعاع الأسود ، وبين عندئذٍ وجوب وجود ضغط اشعاعي أو بلي « وأن قانون ستيفان يقضي بأن يكون هذا الضغط ، بالنسبة إلى اشعاع مبثوث بكامله ، أي متضمن موجات بكل الاتجاهات ، مساوياً لثلث الثقل النوعي أو كثافة طاقة هذا الاشعاع . ويمكن اختصار التحليل النوعي الذي قال به مارتولي بما يلي :

نجس ، في جسم مضخة حجمها (v) . شعاعاً أسود طاقته الكاملة (w₀) ، إذا كانت (w) هي الكثافة في الطاقة ، أي كثافة تزايد بتزايد درجة الحرارة (أي بسية T⁴ سنداً لقانون ستيفان) . وإذا نقصنا الحجم بواسطة بستون عاكس ، عندها يجب أن نزيد درجة الحرارة ، وإذا وضعنا جسم المضخة على اتصال مع تحويف درجة حرارته أعلى من الدرجة الحرارية الأصلية ، إنما الأقل من درجة حرارة المضخة النهائية ، عندها يجب أن تنقل الطاقة إلى هذا التحويف الجديد وعندها يصبح من الممكن تبرير الحرارة من جسم بارد إلى جسم حار ، مما يخالف قانون كارنوت . إذن يتوجب ، من أجل إعادة الاسحاج ، تقديم أو بذل جهد من أجل انقاص الحجم ، أي يتوجب التغلب على الضغط المحدث من الاشعاع فوق الضاغطة « البستون » Piston .

ولكن مكسويل ، بالضغط ، سنة 1873 ، بين أن النظرية الكهرومغناطيسية حول الضوء تنص على وجود مثل هذا الضغط . ومن السهل نوعاً ما فهم منشئه .

وبالواقع ، تشكل موجة كهرومغناطيسية من مجمل الحقلين ، واحد كهربائي والثاني مغناطيسي ، بشكل مستطيلين عاموديين على اتجاه الانتشار (اعتراضية الموجات) . تنص أن مثل هذه الموجة تسقط عامودياً فوق لوحة عامودية مثلاً . وتحرك الالكترونات التي تؤم التوصيلية الكهربائية في المعدن ، بفضل الحقل الكهربائي ، وتصبح هذه الالكترونات معادلة لتيار يكون اتجاهه نفس اتجاه الحقل الكهربائي . ولما كان هذا التيار خاضعاً للحقل المغناطيسي الذي تحققه الموجة ، عندئذٍ ينتج عن قوانين الكهرومغناطيسية أن يجمع هذا التيار ، وإذا اللوحة المعدنية ، لقوة اتجاهها ، المرسوم بموجب قاعدة الاصابع الثلاثة ، هو اتجاه انتشار الضوء المائل . ولما كانت هذه القوة تتناسب بالتأكيد مع السطح المضاء ، فإنها تعادل ضغطاً ما

ودل الحساب الذي اجراه مكسويل ، أن هذا الضغط يساوي ، في حالة الموجة العامودية على للوحة . ، ربح الطاقة المشعة . وفي حالة الموجة التماسية ، يكون الضغط معدوماً وفي حالة الاشعاع الكامل البث يكون الضغط مساوياً لثلث زخم الطاقة .

في هذه الأثناء استعمل ل. بولتزمان (1844 - 1906) هذه النتيجة وطبق أيضاً مبادئ الترموديناميك ، فبين في سنة 1884 ، أنه ينتج عن ذلك بالضرورة قانون ستيفان ، وأن هذا القانون لا يمكن أن يطبق بدقة إلا على الاشعاع الأسود .

قانون وين Wien : اهتم قانون ستيفان بالطاقة الشاملة للاشعاع الأسود . وقد كان من المتعين البحث عن كيفية توزيع هذه الطاقة بين مختلف أطوال الموجات ، أي البحث عن كثافة الطاقة المعزوة إلى مجمل التواترات القريبة من قيمة معينة (v) تحتد فوق مسافة 8v ، وهي كثافة تتمثل بالمعبرة

$u_{\delta v}$ وفي سنة 1893 حصل ويلهلم وين (1864 - 1928) على نتائج ذات قيمة عالية ، عندما دمج مع مبادئ الترموديناميك مبدأ دويلر المطبق على ضغط الاشعاع الأسود .

$$u_v = v^2 f\left(\frac{v}{T}\right) \quad \text{وأدت بحوثه الصعبة الشجع نوعاً ما إلى النتيجة التالية :}$$

$$\text{وفيها تمثل } f\left(\frac{v}{T}\right) \text{ دالة شاملة لحاصل القسمة } \frac{v}{T} .$$

من السهل رؤية ان هذه المعادلة تقتضي تطبيق قانون ستيفان . ومن جهة اخرى بينت هذه المعادلة أنه يكفي التعرف على المحنى الذي يمثل (u_v) ، تبعاً لـ (v) ، في درجة حرارية واحدة ، من اجل امكانية رسم المحنى المناسب مع درجة حرارة اخرى كيفية . ولما كانت التجربة قد بينت أن المنحنى المبحوث عه يمثل ذروة بالنسبة إلى توتر v_m (وهو متغير مع T) فنستنتج من ذلك أن : $v_m/T = \text{ثابتة مما يكون قانون التنقل الذي قال به وين .}$

ولكن الآن تم استفاد كل ما يمكن الترموديناميك ان يعطيه . ومن اجل تحديد الشكل التحليلي للدالة f ، يتوجب التوجه إلى اعتبارات اخرى .

تطبيق مبدأ التوزيع المتبادل للطاقة : بى ح . جينس J. Jeans - وهو يدرس ، من ناحية النظرية الكهرومغناطيسية للضوء ، نظام الموجات المتوقعة ، هذا الطام الذي يوجد ، نتيجة التشابكات ، في عرصة متوازية السطوح ذات حوائب عاكسة تماماً - ، بأن المعادلات يمكن ان توضع بشكل يشبه الشكل الذي يمثل ، في الميكانيك ، محمل عدد غير محدد من الرقاصات الهرمونية . وعدد هذه الرقاصات ذات الوثيرة القريبة من v إلى δv تقريباً ، يعادل هنا $\frac{8 \pi v^2}{c^3} v \delta v$ حيث c هي سرعة الضوء و v هي حجم العرصة .

وفكر لورد رايلي (1842 - 1919) عدده في تطبيق استدلال الميكانيك الاحصائي . وبشكل خاص يجب ان يتوفر لكل رقاص ، بصورة وسطية الطاقة kT (مبدأ تعادل توزيع الطاقة) حيث ينتج قانون التوزيع الطيفي المعروف باسم قانون رايلي - جينس : $u_v = \frac{8 \pi v^2 kT}{c^3}$ حيث k ثابتة بولتزمان ، المعادلة حاصلة قسمة ثابتة الغازات على عدد أفوغادور . وهذا القانون يتخذ الشكل المطلوب في معادلة وين العامة . وللتثبت من ذلك يكفي وضع :

$$f\left(\frac{v}{T}\right) = \frac{8 \pi k}{c^3} \frac{T}{v}$$

ويبدو في الحال أن الصيغة المعتبر عليها لا يمكن أن تكون دقيقة لأنها تؤدي إلى إعطاء الاشعاع الأسود طاقة شاملة وغير محدودة ! ولكن هذه الصيغة تعطي نتائج تتوافق مع التجربة بالنسبة إلى التواترات الخفيفة (تحت الأحمر البعيد)

واقترح وين سنة 1896 وبلانك Planck بعد ذلك . بقليل ، تعبيراً عن وجود ذروة في طيف الجسم الأسود ، اقترحاً بالنسبة إلى $f(v/T)$ وظيفة اسية متنازلة فاقترحاً المعادلة التالية : $u_v = C_1 v^{-3} e^{-C_2 v/T}$ باعتبار C_1 و C_2 ثابتين يمكن تحديدهما بواسطة ثوابت قانون ستيفان وقانون وين حول التنقل .

وبدأت هذه المعادلة في بادى الأمر مرضية . ولكن في سنة 1899 اثبت لومر Lummer وبرنغشم Pringsheim وجود تناقضات اكيدة مع التجربة . وبذات الوقت بين كورلوم Kurlbaum

وروباس Rubens عدم تطبيق القانون الاسمي ، ليس فقط على الأطوال الكبيرة جداً في الموجات ، بل أيضاً ان قانون رايلي - جينس يطبق بدقة اكبر عليها .

ولادة نظرية الكانتا : في هذا الوقت فكر بلانك بخاطرة عبقرية ان الطاقة في رقاص لا يمكن أن يكون لها مطلق قيمة ، كما يفترض ذلك ضمناً استعمال مبدأ التوزيع التبادلي للطاقة ، ولكنها لا يمكن ان تكون (هذه القيمة) إلا مضاعفاً صحيحاً من مقدار اولي (ϵ) أو كانتوم من الطاقة . وهذا حمله إلى التوصل إلى طاقة وسطى كانت ، بدلاً من kT ، على الشكل التالي : $\frac{\epsilon}{e^{kT} - 1}$

وهي تعبير يُرد إلى kT عندما تكون (ϵ) صغيرة جداً . ونتيجة لذلك يجب أن يكون قانون التوزيع الطيفي كما يلي $\frac{8\pi\nu^2}{e^{kT} - 1} \cdot \nu$ ومن اجل الانسجام مع قانون وين يتوجب وضع $\frac{8\pi\nu^2}{e^{kT} - 1}$

$h\nu = \epsilon$ حيث h تساوي ثابتة جديدة شاملة .

وهذا العمل المهم جداً قدم في 14 كانون الأول سنة 1900 امام الجمعية الألمانية للفيزياء . إن الثابتين h و k الظاهرتين في هذه المعادلة يمكن تحديدهما بواسطة ثابت ستيفان ووين . ولكن الثابتة (k) المسبوبة إلى بولتزمان Boltzmann تعادل حاصل قسمة ثابتة الغازات الكاملة على عدد أفوغادرو ، حيث يستخرج وسيلة غير متوقعة من اجل تحديد هذا العدد : وكانت النتيجة متجانسة تماماً مع حاصلات قدمتها طرق اخرى مرتكزة على اعتبارات مختلفة تماماً .

VIII - النظرية الحركية والميكانيك الاحصائي

عدا عن المحاولة التي قام بها دانيال برنولي والتي سبقت الإشارة إليها (المجلد الثاني) ، ظل مفهوم « الدرة » غريباً عن الفيزياء لمدة طويلة . والكيمياء هي التي وضعت المفاهيم الحديثة للذرة والجزيء ، المفاهيم التي اخذتها الفيزياء فيما بعد .

وحوالي 1850 فقط ، عندما ثبت حفظ الطاقة تماماً ، شرع بالتفكير في ان الحرارة ليست إلا مظهراً ، في سُلْما ، من مظاهر الاضطراب الجزيئي (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة ج. دارمويس Darmois ، القسم 1 ، الفصل 3) وادت تجارب غي لوساك وجول ، التي سبق أن أشرنا إليها ، والدالة على ان الطاقة الداخلية في الغازات الكاملة لا تتعلق بالحجم ، إلى الافتراض بان القوى بين الجزيئات يجب ان تكون ضعيفة جداً عندما يتعلق الأمر بالغازات .

وقد اجر هذا كلوزيوس بشكل خاص ، سنة 1857 ، إلى الافتراض ان الجزيئات الغازية ، بين صدمتين ، تتحرك بحركة منسجمة ومستقيمة . واثاح تفسير قواين بويل - ماريوت ، وغاي لوساك عندئذ حساب سرعة هذه الجزيئات ، سرعة افترضت واحدة بالنسبة إلى كل الجزيئات . فبالنسبة إلى المزدوجين في درجة حرارة عادية ، وجدت سرعة من عيار 2000 كلم / ث ، وهي قيمة بدت ضخمة ولا تتناسب مع ببطء انتشار الغازات بعضها في بعض ومع ضعف توصيلها الحراري . ولكن في سنة 1858 شرح كلوزيوس ، أنه ، بسبب الصدمات العديدة جداً فيما بين الجزيئات ، فإن مداها ، المكون من خطوط مستقيمة ، يكون معقداً جداً ، وانها ، رغم ان سرعتها كبيرة ، فإن المسافة بين نقطتين مشغولتين بنفس الجزيء ، على مسافة ثانية ، يمكن ان تكون صغيرة جداً : وان العنصر الاسمي - في

ظواهرات الانتشار ، مثلاً - هو المسافة بين صدمتين ، « المسار الحر الوسطي » . في سنة 1859 نجح مكسويل في التعبير عددياً عن « لدونة الغازات » تبعاً لهذا المسار الحر الوسطي . وفي نفس العمل تحرر من فرضية تعطي نفس السرعة إلى كل الجزيئات مع صياغة قانونه حول توزيع السرعات . وبموجب هذا القانون يتناسب عدد الجزيئات ذات السرعة التي تعادل مكوناتها: $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ بفارق $d\theta_x, d\theta_y, d\theta_z$

$$\text{مع ما يلي: } d\theta_x d\theta_y d\theta_z = \frac{1}{\pi^{3/2}} e^{-\frac{1}{2}(u^2 + v^2 + w^2)} du dv dw$$

باعتبار ان μ تساوي ثابتة تتعلق بطبيعة الجزيئات ودرجة الحرارة .

ورغم انه حسن في هذا القانون فيما بعد ، إلا أن برهان مكسويل لم يكن مرضياً . وفي سنة 1868 برهن بولتزمان بصورة صحيحة هذا القانون في أن المثقل يجب ان يؤخذ مساوياً لـ (μw) حيث μ هي ثابتة (مختلفة عن السابقة وحيث w تمثل الطاقة الشاملة في الجزيء) .

وبن ادخال هذا القانون في تفسير قوانين بويل - ماريوت وغي لوساك أن الثابتة μ يجب ان تكون مساوية لـ : $1/kT$ باعتبار أن T تساوي درجة الحرارة المطلقة وأن k هي « ثابتة بولتزمان » المذكورة السابقة .

إن معرفة المسار الوسطي الحر ، المحصل بمعدل اللزوجة ، والفرضية بأن الجزيئات في الغازات البسيطة هي كرات حجمها الحقيقي يعادل تقريباً الحجم الذي يحتله السائل ، هذه المعرفة وهذه الفرضية ، مكنت لوشميت Loschmidt في سنة 1865 من تحديد قطرات الجزيئات . ومن تحديد عدد أفوغادرو بذات الوقت ، أي عدد الجزيئات الموجودة في جزيء - غرام ، (سمي أيضاً عدد لوشميت) وهكذا يرى أن الأقطار الجزيئية يجب ان تكون من عيار 10^{-8} سنتيم أي 1 أنغستروم (Ångström) وعدد أفوغادرو من عيار (10^{23}) .

ويطبق استدلال بولتزمان حول قانون التوزيع الذي قال به مكسويل ، على حركات الانتقال ، التي اعتبرها مكسويل وحدها ، في عمله الأول ، كما تطبق على كل الحركات الأخرى الممكنة . وساعد هذا الاستدلال على تعيين « مبدأ التوزيع المتبادل للطاقة » وبموجبه تنقسم الطاقة الحركية أيضاً ، وسطياً بين كل درجة من الحرية ، وهي أي الطاقة الحركية تساوي نصف kT عند كل درجة .

نظر ، في البداية إلى غاز وحيد الدرة يمكن تشبيه كل جزيء منه بمكرة . كل جزيء يتمتع بثلاث درجات من الحرية إذ يكفي معرفة الاحداثيات الثلاثة لمركز ثقله النوعي ، من أجل تحديد موقعه . وبالتالي فإن طاقته الوسطية $3/2 kT$ وبالنسبة إلى جزيء غرام تساوي $3/2 NkT$ أو $3/2 RT$ باعتبار أن N هي عدد أفوغادرو . ولكن عند تسخين هذا الغاز درجة واحدة مئوية ضمن نفس الحجم ، فإن كل طاقة يجب أن تقدم بشكل حرارة لأنه لا يوجد عمل ، وهذه الطاقة المقدمة تساوي $3/2 R$. وإذا فالحرارة الذاتية النوعية ، بالحجم الثابت C_v يجب أن تساوي $3/2 R$ ، وسنداً لمعادلة ماير ، فإن الفرق يكون $C_p - C_v = R$ (نحن نقيس هنا الحرارة والعمل بنفس الوحدة) ، ذلك أن $C_p/C_v = 5/3 = 1.67$ وأن $C_p = \frac{5}{2} R$

وبالنسبة إلى غاز أكثر تعقيداً إذا كان n هو عدد درجات الحرية في كل جزيء فإننا نجد بنفس

الشكل: $C_p/C_v = (n+2)/n$. أما الغازات الثنائية الذرة مثلاً والتي يجب اعتبار جزيئها مكوناً من كرتين مرتبطتين بشدة - وبالتالي لها خمس درجات من الحرية (إذ يتوجب لها ثلاثة بارامترات من أجل تثبيت موقع إحدى الذرات وبارامترين آخرين لتثبيت اتجاه خط المراكز) - يجب أن تقدم معادلة هي : $C_p/C_v = (5 + 2)/5 = 1.4$.

ولكن هذه النسبة تستخرج بسهولة لأنها تتدخل مثلاً في التعبير عن سرعة الصوت . وقد كان من المعروف تماماً أنه بالنسبة إلى غالبية الغازات البسيطة مثل الأوكسجين والأزوت ، تعادل النسبة فعلاً (1.4) .

وابعد من ذلك اعتبرت الذرات في جسم صلب ، وهي تقوم حول موقعها التوازني ببذبذبات هرمونيكية تتساوى فيها الطاقة الحركية مع الطاقة الوسطى الكامنة ، هذه الذرات يجب أن يكون لها طاقة كاملة وسطى تعادل ضعف طاقة غازها ، أي kT لكل درجة من الحرية .

هذه الفرضية أدت إلى إعطاء كل جسم بسيط جامد حرارة ذرية $3R$ ولما كانت R ، بالكالوريات تساوي تماماً (2) فإن هذه الحرارة الذرية تكون (6) . ونعود بالتالي إلى قانون دولون وبتي ؛ ولكن هذه النظرية لا تسمح بتفسير المتغيرات تبعاً لدرجة الحرارة ، الملحوظة في حالة الجوامد وفي حالة الغازات . وفي القرن العشرين فقط وبعد تطور نظرية الكانتا يمكن توضيح هذه المسائل .

ومن الملحوظ تماماً أن كل النجاحات التي حققتها النظرية الحركية تعود في النهاية ، إلى عدم تتبع - عبر الزم - الحركة الفرد للجزيئات ، بل تعود إلى كوننا نغاضي بين كل المقادير القابلة للقياس (مثل الضغط ودرجة الحرارة) والمعدلات المتوسطة . هذه المعدلات يمكن أن تؤخذ بالنسبة إلى مختلف المواقع المشغولة ، عبر الزم ، من قبل جزيء واحد ، أو تؤخذ ، في لحظة معينة بالنسبة إلى عدد كبير من الجزيئات ، ونغاضي المتوسطات أو المعدلات الوسطية المحصورة على هذا الشكل يشكل ما يسمى « القاعدة الطاقية » . والنقطة الأساسية التي يجب حفظها هي أن حسابات المتوسطات يدخل حتماً مفهوم « الاحتمالية » . وبإدخال هذا المفهوم منذ البداية ، استطاع ج. ويلارد جيبس (1839 - 1903) أن يقيم الميكانيك الاحصائي الخاص به ، وهو ميكانيك ربما كان أقل إجماعاً من طريقة بولتزمان Boltzmann ولكن يمتاز بأنه لا ينطبق فقط على الغازات (واستطاعت أعمال بولتزمان وجيبس أن تتمكن النظرية الذرية من تقديم كل خصائص « نظرية كبرى » كانت تبدو متعارضة مع الترموديناميك . . ومن هنا نشأ النزاع الطويل بين الذريين والطاقويين ، ومن بينهم يذكر و. استولد Ostwald وكتابه ضلال الذرية) . وإن نظرنا إلى امكانية تعريف « احتمالية حالة نظام ما » فلن يصعبنا العجب إن عرفنا أن نظاماً ما ممزولاً ، ينتجه عموماً ، أثناء تطوره ، نحو حالات تزايد احتمالياتها ، أي أن احتمالية هذا النظام تزايد . وإن قربنا هذه النتيجة من قاعدة كلوزيوس حول تنامي الانتروبية Entropie (القصور الحراري) نرى وجوب وجود رابط بين هذين المفهومين . وهذا الرابط وضعه بولتزمان سنة 1877 ومفاده أن « الانتروبية » تتناسب مع لوغاريتم الاحتمالية ، وأن معامل النسبية أو الرابط هو أيضاً ، ثابتة (k) بولتزمان » .

من السهل فضلاً عن ذلك التثبت من أن هذا الرابط لا يمكن أن يكون إلا لوغاريتمياً ، لأنه إن

نظرنا إلى نظام مكون من تراكم نظامين آخرين فإنَّ « انتروبيته » تساوي مجموع « انتروبيات » الأنظمة المكونة ، واحتماليته هي حصلة احتماليات هذه الأنظمة .

وفي الأساس ان الرابط بين هذه الاحتمالية و « الانتروپيا » هو الذي اتاح للورد رايلى Rayleigh أن يعالج ، كما رأينا مسألة التوزيع الطيفي لاشعاع الجسم الأسود . وهذا الرابط ايضاً هو في اساس استدلالات بلانك Planck الذي ادخل مفهوم الكانتوم الطاقوي . وبخلال القرن العشرين ، وبنوع من الصدمة الارتدادية غير المتوقعة انعكست نظرية الكانتا وبعثت على تطور الميكانيك الاحصائي ففتحت امامه آفاقاً غير متوقعة .

نهضة الكيمياء

1 - ظهور نظرية الذرية الحديثة

لا ينطبق انقطاع العصر ، المفروض بمقتضى خطة العرض العامة، على الفصم الحاصل في تاريخ الكيمياء . ساد الظن لفترة طويلة حول امكانية البدء بمرحلة جديدة في هذا التاريخ مع السنوات الأولى من القرن التاسع عشر . تكرر المظاهر هذا المفهوم بصورة جزئية؛ فقد برزت افكار جديدة في ذلك الحين ، كان لها نتائج ضخمة على تطور النظرية ، والأحداث التي بدت وكأنها توحي بهذه الأفكار قد كشف عنها رجال جديدون كانوا مجهولين قبل سنة 1800 .

ولكن إذا لاحظنا بعناية أكبر الفترة الواقعة بين 1801 و1818 نرى انها النتيجة المنطقية لتبايرات فكرية كبرى ونتيجة اكتشافات القرن الثامن عشر وانها امتداد له . ولفهم هذه الحقبة وتفسيرها يجب دائماً ان تكون حاضرة في الذهن الأحداث العلمية التي جرت في الثلاثين سنة السابقة . ان هذه الحقبة هي في الواقع التي عملت على اعداد القطع الحقيقي الذي يمكن وضعه بين سنة 1818 و1820 تقريباً .

ان الأفكار الرئيسية المنافسة هي وليدة مجمل الأعمال التي تناولت الالفات *les affinités* التي ادخلها اختراع البطارية الكهربائية من قبل فولتا ، هذا من جهة ، ومن جهة أخرى بسبب النظام الجديد في الكيمياء . ان الابعاد المفتوحة أمام مفهوم الالفة بفضل الكهرباء الكيميائية قد احاطت ودعمت مفاهيم العلاقات التناسبية والتناسبات المتعددة بين المكونات التي تمت صياغتها في القرن الثامن عشر . فقد ازدهرت هذه التناسبات وتأكدت بفضل النظرية الذرية التي قال بها دالتون . ان اكتشاف اجسام جديدة بسيطة ادى إلى تصحيح في نظرية الاسيدات (الحوامض) عند لافوازييه Lavoisier وإلى توضيح المعرفة بالمركبات الركيزية (القاعدية) . بعد هذه التصحيحات احتفظ نظام لافوازييه بأهميته حتى أواخر القرن التاسع عشر .

وهكذا وحتى لا يكون حقبة في الاكتشاف العلمي محددة بصورة كيفية ، من المنطقي أكثر

النظر الى الحقبة الممتدة من سنة 1783 إلى سنة 1818 ككل ، بدلاً من فصلها ، كما يجري عادة في سنة 1802 .

ان بداية هذه الحقبة قد سبق وصفها في المجلد الثاني من هذه الموسوعة . وخلال السنوات العشرين الاخيرة منها كان نشاط الكيميائيين زخماً جداً بحيث يصعب تماماً الاخبار عن تنامي الاكتشافات والنظريات . وعلى الغاري، ان لا ينسى ان اعادة تجميع الاحداث - من اجل وضوح العرض - حول خمسة مواضيع رئيسية ، لم توقف هذه الاحداث عن ممارسة تأثير متبادل فيما بينها .

1 - خصائص الغازات

الحالات الغازية ونظرية نيوتن : كان للعديد من الأعمال حول الخصائص الفيزيائية في الغازات تأثير مباشر على تكوين نظرية الذرات .

بعض هذه الأعمال قام بها الفيزيائي الانكليزي جون دالتون Dalton ، الذي نشر سنة 1792 كتاباً حول الظواهر الحوية . وابتداءً من سنة 1801 ابتكر دالتون عدة فرضيات لكي يوفق بين الأحداث المكتشفة طيلة خمس وعشرين سنة سابقة تقريباً وبين نظرية نيوتن . فموجب هذه النظرية ، يتكون السائل من جسيمات . والقلل النوعي في السائل يتناسب مع الضغط عليه ، أما التدافع بين الجسيمات فيتناسب مع العدد بين مراكز هذه الجسيمات . وقد كان من الصعب فهم كيفية تطبيق هذه النظرية على مزيج متجانس من الغازات المتنوعة كما هو الحال في هواء الفضاء . ان تركيب الهواء الفضائي لم يكن معروفاً في زمن نيوتن ، ولهذا لم يستطع ان يفكر في هذه الصعوبة . ولرفع هذا الاشكال ، افترض دالتون الذي كان يفترض ان الذرات في مختلف الغازات مختلفة ، افترض ان التدافع لا يتم إلا بين ذرات متشابهة . وعرف فيما بعد ان انتشار غاز ما في غاز آخر يتم ببطء ويحتاج إلى قوة ضخمة ، نظراً لأن قوة الدفع هي الحرارة التي تحيط بالذرات .

فوبائية الغازات : في بداية سنة 1803 اكتشف وليم هنري W. Henry وجود علاقة بين ضغط الغاز ودوابيته في الماء . ورأى دالتون الذي سبق ان اطلع على اعمال هنري قبل نشرها ، رأى فيها تأكيداً لنظريته الخاصة ، فاهتم طيلة سنة تقريباً بالمسألة هذه بشات . وقرر وجوب وجود علاقة بالنسبة إلى الحالة الغازية ، وحالة الذوات بسيطة بين المسافات المتتالية الموجودة بين الجزيئات . ان هذه العلاقة يجب أن تتغير مع كل غاز . واستشف ان هذه العلاقة تتغير ، كما تتغير ثقلية الغازات ، دون ان يفكر بإمكانية وجود علاقة بين الثقلية والتركيب الذري (أو الجزيئي) في الغازات ، وهي فكرة لم تعلن إلا فيما بعد من قبل أفوغادرو Avogadro ثم من قبل امبير Ampère . ولكن دالتون بعد ان انتقل من الأحجام إلى الأوزان قرر وضع جدول أول بالأعداد المناسبة ، ومن الممكن ان فكرة الأوزان الذرية ذات الطبيعة الكيميائية لم تخاطر له الا على اثر بعهوثه الفيزيائية المتتالية ، بعد اكتشاف قانون هنري .

الأعداد المناسبة مع الجزيئات : في 6 أيلول سنة 1803 دون دالتون في دفتره للمذكرات الرموز الأولى للعناصر ، وهي رموز اقتضت نظرية الذرات ، ولكنه ، كما سترى ، لم يضع حقاً هذه النظرية الا خلال السنوات التالية .

وابتداءً من سنة 1804، ابتكر نظرية ثانية فيزيائية لكي يوفق اقتراح نيوتن مع تعاليش غازات مختلفة في وسط متسق. ان جزيئات الغازات كانت مكونة من الذرة الجسامدة المحاطة بغضاء من الحرارة. ان فكرة حجم الجسيمات قد مكنته من التثبت من فكرته عن العلاقات بين اعداد الجسيمات في مختلف الغازات الموحدة في نفس الحجم. عندها، وبالترباط مع فكرة وزن الجسيمات، بدأ في تركيب النظرية الذرية التي لم تبدأ بالظهور علناً قبل 1805.

قانون العلاقات الحجمية المتريّة - - - - - سرت اعمال مهمة اخرى حول الغازات من قبل غي لوساك Gay - Lussac، خلال نفس الفترة، فمنذ سنة 1802 قدم العالم الشاب أمام الانستيتو [المجمع العلمي] مذكرة حول تمدد الغازات. وفي سنة 1805 اجري مع الكسندر فون هببولدت Hamboldt بحثاً ايدئومترية، [اي متعلقة بوزن الغازات] حول تركيب الماء، ولاحظ فيها بعد على العديد من الأجسام، ماعية النسب الحجمية المتريّة التي تتم التركيبات الغازية على أساسها. أما تمتع اعماله فقد مكنته ان يصوغ في سنة 1808 قانوناً مهماً جداً بموجبه تندمج الغازات فيما بينها وفقاً لعلاقات حجمية متريّة بسيطة، وعندما يتم التفاعل في حالة من القفض تكون العلاقة بين الحجم الحاصل وبين حجم المكونات علاقة بسيطة وصحيحة دائماً.

فرضية أفوغادرو وامير : - ان النتيجة الرئيسية لهذا القانون قد استجرها اميديو أفوغادرو سنة 1811، ثم امير في سنة 1814. وهذا الأخير لم يكن قد اطلع على مذكرة الكيميائي الايطالي. ارتكز أفوغادرو على قانون غي لوساك ولاحظ ان علاقات الأحجام تقتضي علاقات بين كمية المواد. وهذه المواد «لم تكن تبدو انها متعلقة الا بالعدد النسبي للجزيئات التي تخرج، وبالعدد النسبي للجزيئات التي تنتج عن الاولى». وبالتنتيجة صاغ أفوغادرو فرضية تقول ان حجماً معيناً من أي غاز يحتوي دائماً نفس العدد من الجزيئات «الداجية»، وان هذه الجزيئات مكونة من جزيئات «اولية»... وهذا التعبير بدا ضرورياً بحكم ان احجام المكونات والمكونات الغازية كانت دائماً ضمن نسب بسيطة. وهذا التمييز يتوافق مع واقع فيزيائي لم يفهم معناه تماماً إلا في أواخر القرن التاسع عشر. فضلاً عن ذلك بينت فرضية أفوغادرو وجود علاقة ثابتة بين حجم غاز ما وعدد لجزيئات في هذا الغاز المحتواة ضمن حجم محدد.

وبشكل آخر، وباستعمال تعابير مختلفة تشابهت النظرية التي صاغها امير مع نظرية أفوغادرو واستلهم امير وجود القوى الجاذبة والدافعة، فافترض ان الأجسام مكونة من جسيمات مركبة من اتحاد عدة جزيئات. ولا أهمية اطلاقاً لشكل الجسيمات. المهم هو عددها والمسافات بينها في الأجسام الغازية. وعرف امير ايضاً وجود علاقة بين هذا العدد وحجم الغاز. وشرح تركيب الغازات المعروفة وقانون غاي - لوساك ليستتبع ان جسيمات الأوكسجين والأزوت والهيدروجين مكونة من أربع جزيئات وان جزيئات بخار الماء مثلاً مكونة من ستة جزيئات: اربعة هيدروجين واثان اوكسجين. وحددت نظرية «أفوغادرو - امير» هكذا، بالنسبة إلى الغازات، ما سمي فيما بعد بالأحجام الجزيئية وبالأوزان الجزيئية، وفضلاً عن ذلك عبرت بوضوح عن الفرق بين الذرات والجزيئات، كما تقرر هذا الفرق في نهاية القرن التاسع عشر؛ وهكذا، وخلال عشر سنوات، اتاح مجمل الأعمال حول

الغازات امام مختلف العلماء ان يصوغوا المفاهيم الرئيسية التي ارتكزت عليها فيما بعد النظرية الذرية وهناك دراسات اخرى حول علاقات المكونات في الأجسام الصلبة والسائلة قدمت بذات الوقت نتائج كانت ذات فائدة كبرى .

2 - الصراع حول النسب المحددة .

من أضخم الأعمال الكيميائية في بداية القرن كانت « محاولة الاحصاء الكيميائي » التي نشرها برتوليت Berthollet سنة 1803 . لم يكن لهذا الكتاب ، الصعب القراءة ، تأثير كبير على الكيميائيين في عصره الا ان الكثير من الأفكار التي يعرضها قد عرفت فيما بعد على أنها أساسية .

قوانين برتوليت : - ان هذه الأفكار قد بحثت من قبل المؤلف خلال حملة مصر حيث رافق بوناپرت . وبعد 1801 بدأ برتوليت بعرض هذه الأفكار أمام « الانستيتو Institut » . وهي مستوحاة من الأعمال الطويلة حول الإلفات الكيميائية التي تحققت خلال القرن الماضي . ولكن برتوليت كان يجهل مثل كثيرين من معاصريه ، منشورات ريختر Richter والتي لم تكشف له إلا من خلال مترجم كتابه الى الألمانية فيشر Fischer . وربما لو كان اطلع عليها قبل عدة سنوات ، لكانت بعض مفاهيمه قد تغيرت ، ولما كان عارض مبدأ النسب المحددة .

ان المفهومين الرئيسيين اللذين اعلن عنهما برتوليت ظهر أن كليهما ينشئ من الآخر . والمفهوم الأول ينكر على التآلف أية قيمة ذاتية . وهو يحطم المبدأ الذي بنيت عليه الجداول العديدة التي وضعت طيلة ثلاثة أرباع القرن . والاستبدالات في المركبات لم تتم بشكل مطلق ؛ ورتبتيها قد ارتبك . بفعل شروط التفاعل . والكمية من المادة المستعملة ، والوقت ودرجة الحرارة يمكن ان تغير في نسب التقاسم وحتى في اتجاه التفاعل .

ويبدو ان برتوليت كان يظن ان التفاعل الكيميائي يتم خلال مرحلتين . في المرحلة الأولى تتفكك الأجسام المتواجدة ، وفي المرحلة الثانية تتشكل المركبات الجديدة . ومع مفهوم الزمن يدخل لأول مرة مفهوم الكتلة الكيميائية المهم جداً . وهكذا رأى برتوليت تماماً أن المفعول الكيميائي يتقلص بمقدار ما يتم الاشتباع . وإذا كان لم يعبر بوضوح عن مفهوم التوازن الكيميائي فقد استشعره . .

ومن هنا انبثقت الأحكام الثانية التي شكلت فيما بعد قوانين برتوليت الشهيرة : ان توازن الوسط يخل إذا استبعد أحد الأجسام . وهو ، أي التوازن ، يتكون سواء عن طريق الترسيب أو التطاير . وان وضعنا معاً محلولين من الأملاح ، تتوزع الأسيديات بين الركائز « البازات » وتتوزع « البازات » بين الأسيديات ؛ وإذا كان أحد الأملاح الأربعة المتكونة على هذا الشكل غير قابل للذوبان تتغير نسب الانقسام الى أن يزول تماماً أحد العناصر . ولكن هذا العنصر جرمه الكمية اللازمة لاشتباعه تماماً من العنصر الذي يتحد معه ليكون ملحاً غير قابل للذوبان .

والتمييز بين الظاهرات الفيزيائية أمثال الخلاط أو التنويب الرطب ، وبين التفاعلات الكيميائية مثل اشتباع « باز » بأسيد ، هذا التمييز لم يكن قد تقرر بعد تماماً ، والالهام بين هذين النوعين من الظاهرات حل برتوليت على استخلاص - من مبادئه - القناعة بأنه ، في مركب معين ، تختلف نسبة

المركبات بحسب ظروف التفاعل الذي يولد الجسم .

الجدل بين برتوليت وبروست Proust : - في ذات الحقبة اجري الكيميائي جوزيف . ل . بروس ارساداً حول العديد من المركبات المعدنية . ونشرت اولاًها سنة 1799 ، وتناولت كربونات النحاس ، في حين تناولت الارصاد الأخرى الاملاح والاكسيدات من عدة معادن . واستنتج بروس من تجاربه مفهوماً معاكساً لمفهوم برتوليت . ان المركبات تحتوي على نسب محددة من مكوناتها . وقام نقاش طويل بين الكيميائيين واستمر علناً بأدب من سنة 1801 الى سنة 1808 . وحاول برتوليت ان يدعم الرأي القائل بأن تكون الرسوبات ذات التركيب الثابت لم يكن إلا عارضاً سببه اللامحولية التي تصد التغير المستمر في المزيج . وكذلك رفض ان يستخرج من قوانين « غي لوساك » الاستنتاجات التي أخذت تفرض نفسها . فهو رأى ان ثبوتية النسب الحجمية المترتبة في الغازات لم تكن إلا عن معاميل التركيز اي من قلة الحجم . وأجاب بروس ، كل مرة ، بتجارب جديدة تقدم تأييداً لوجهات نظره البسيطة الواضحة ؛ وأخيراً لم ينجح برتوليت في استجواب العلماء الى رأيه ، وقبِل بسرعة قانون بروس الذي لم يكن إلا تعميماً لأعمال « ونزل Wenzel » و « ريختر Richter » ، إنما بشكل أقل تعقيداً .

3 - الذرات ، والخلايا ، والمعادلات

منذ بداية الفكرة العلمية وحتى السنوات الأولى من القرن التاسع عشر ، بقيت فكرة الذرات مفهوماً ميتافيزيكياً وخلال القرن الثامن عشر كان للمحور حول الالفاظ نتيجتان مهمتان : أولاً العمل على تقبل الفكرة ، ودوناً رجعة ، القائلة بأن المادة لها تركيب جسامي ، ثم اثبات ان الأجسام البسيطة لا يمكن ان تتحد الا بنسب محددة من أجل تشكيل مختلف المركبات الكيميائية المعروفة . وكانت الظروف مهية حتى تتم صياغة فكرة الذرات بتعابير علمية وتصبح فرضية خصبة .

جون دالتون - لا شك ان الفضل يعود الى جون دالتون في صياغة هذه النظرية العظيمة التي ربما كانت الأكثر أهمية في كل تاريخ الكيمياء .

لقد كان لهذا العالم الانكليزي مسار حياة متواضع جداً كاستاذ ، لو لم يأت هذا الاهتمام العميقي . لقد ولد في 6 أيلول سنة 1766 في ايمفيلد (كمبرلد) . كان عصامياً وبدأ يعلم منذ شبابه الأول ، وهو يتابع دروسه . واستقر في مانشستر سنة 1793 ، واستمر يعيش من اعطاء الدروس الخاصة ، قائماً بأعمال تحليلية صغيرة . وذهب الى المدن الانكليزية الكبرى يعطي محاضرات ودروساً ، مما جعله على اتصال بالعلماء البريطانيين المشهورين . وحتى عندما جعلته أعماله مشهوراً ، تابع هذه الحياة المستقلة المثقلة بالأعمال التي يجيها ومات في سنة 1844 .

من الصعب معرفة كيفية ظهور النظرية الذرية في ذهن دالتون . واشهر شهادات المعاصرين ومنهم دالتون نفسه ، وتوماس تومسون ووليم هانري ، متناقضة بهذا الشأن ، ويدت مضللة ، فضلاً عن ذلك ، ان دفاتر مذكرات دالتون قد اُتلفت بخلاف الحرب العالمية الثانية ولم يبق منها الا دراسات مجزأة من هذه المراجع التي لا تتيح العودة الى بحوث معمقة .

وأقدم مستند ذي تاريخ مؤلف من جدول محاضر سبق الكلام عنها ، حرره دالتون في 6 ايلول سنة 1803 ، وفيها يتعلق الأمر كما رأينا بمحاضرة فيزيائية ساعدته ، بحسب التأويل الذي قدمه معلق حديث هوليونارك . ناش Nash على الاتجاه نحو نظرية الذرات الكيميائية . ويبدو ثابتاً ان دالتون لم يكن يمتلك بمجمل نظريته الكيميائية قبل منتصف 1804 . والمذكرات التي قرأها قبل ذلك الحين لم تنشر الا بسنة 1805 ، ووفقاً لعرف شائع جداً بومثذ ، قد أكملها دالتون قبل ان يقدمها للطباعة . وفي الواقع ان أول عرض لنظريته ، كان من صنع توماس تومسون سنة 1807 ، في كتابه المسمى « نظام الكيمياء » . أما النقاش حول تاريخ تصور النظرية الذرية فلم يتناول الا حقبة قصيرة نسبياً . الا ان حقبة بعض السنوات لها أهمية كبرى ان نحن نحثنا في كيفية تصور دالتون لهذه النظرية . وقد امكن القول تبعاً انه استلهم اعمال ريختر وانه نفذ تجارب حول كربور الهيدروجين المعروف ، أو حول أوكسيد الأروت ، وانه توصل إلى اكتشافه بفضل بحوثه حول ذوبانية الغازات ، وعلى أية حال اتاح انتقاد المستندات تبين الاستحالة ، أو على الأقل إشارة الشك [حول تاريخ تصوره للنظرية الذرية] .

الفرضية الذرية : - عرض دالتون بصورة كاملة الفرضية الذرية في كتاب ضخيم عنوانه « نظام جديد في فلسفة الكيمياء » وقد ظهر المجلد الأول منه في سنة 1808 والمجلد الثالث في سنة 1827 فقط . وكانت افكاره الرئيسية هي التالية :

« من علاقة الأوزان في الكميات [في الجسم المركب] يمكن ان نستنتج الأوزان النسبية للجزيئات أو لذرات الأجسام . وبموجب هذا المعطى سوف يظهر وزن وعدد هذه الذرات في تراكيب اخرى ... » .

والمركبات تتم ذرة مقابل ذرة ، وهي تتم بالكيفية الأنسب . وإذا اتحد جسمان لتشكيل مركب واحد فإن هذا المركب يكون مثبوتاً ، ولا يتضمن الا ذرتين (أو عددين من الذرات العلاقة بينهما واحدة) . وإذا هي شكلت مركبين مختلفين ، فالأول مثبوت والآخر تثليثي . وفي حالة تشكل ثلاثة أجسام فإن احدها يكون مثبوتاً والآخرين تثليثيان . وأخيراً إن الأوزان النسبية في كل ذرة - وهذا ما سمي فيما بعد « الأوزان الذرية » - تختلف بالنسبة إلى كل ذرة . وهذه الفكرة الأخيرة كانت جديدة رغم أنها انبثقت من أعمال ريختر Richter وفي الحوث كلها حول التعاطف أو التآلف لم تحظر الفكرة - وبصورة خاصة في أعمال هيجنز Higgins السذي اعتبر خطأ كسابق لدالتون - القائلة بأن كل عنصر يدخل في التركيب بوزن نسبي خاص به . هذا المفهوم الخصب جدا وجد تأكيدات له متتالية حتى عصرنا الحاضر .

وقدم دالتون جدولاً بالأوزان النسبية أو الأوزان الذرية لعشرين عنصراً ولعدة مركبات . وقد اعطى الهيدروجين وزناً ذرياً يساوي 1 أما أوزان الأروت و لكربون فتساوي 5 ، والأوكسجين 7 الخ . أما بخار الماء والأمونياك والغاز النيتري المعتبرة كل واحد منها كمثبوت ، فقد أعطيت على التوالي الأوزان النسبية المساوية لـ 6 ، 8 ، 12 .

المكافئات - ان كلمة مساو أو متكافئ هي من ابتكار الكيميائي الانكليزي ولاستون Wollas tone الذي حسب جدولاً آخر كان أساسه الأوكسجين المساوي لعشرة . وتختلف أرقام هذا الجدول في

مقاديرها عن أرقام جدول دالتون ، إذا وضعنا جانباً فروقات النتائج التحليلية بالذات ، وإذا كان جدول ولاستون لم يستعمل أيضاً كجدول دالتون ، فإن كلمة مساوٍ أو متكافئ قد اعتمدت من قبل غالبية الكيميائيين لأنها تمتاز بعدم اقتضاء وجود الذرات . ولم يشأ أشهر الكيميائيين ، ومن بينهم برتوليت ودافى قبول فرضية دالتون في كل مؤداها .

وفي الواقع ان كلمة ذرة وجزء ومساوٍ أو متكافئ قد قبلت بمعانيها المماثلة كأنها لمعنى واحد . وفي ما بعد فقط اتخذ النقاش حول التعابير وحول الجداول اتجاهاً حاداً نوعاً ما . وفي فرنسا بشكل خاص ، وتأثير من النظرية الوضعية ، تناول هذا النقاش المبادئ الفلسفية . وسوف نعود إلى هذه المسألة وبشكل خاص إلى نظام المساويات المنشور سنة 1817 من قبل برزيلوس Berzelius .

4 - الكهركيمياء

ان اختراع البطارية الكهربائية قدم للكيميائيين وسيلة قوية للاستقصاء استعملت في بادئ الأمر بشكل مهم . وكان الكيميائيون والفيزيائيون مقودين بفكرة وحيدة ، وهي ان قوى التآلف يمكن التلبس بها مع القوى الكهربائية . وقبل العثور على درب الوصول الى المسألة تلمسوا بعض الوقت . وحاول العديد من المجريين ، في كل البلدان ، أن يفككوا الماء ، وألقى تشكل المواد الثانوية بعض الإجهام على النتائج الحاصلة . ومن بين كل هذه الأعمال ، فإن أعمال الكيميائيين السويديين ، هيسنجر Hisinger وبرزيلوس Berzelius ، دلت على ان تيار البطارية يفكك المحلولات الملحية . وقد استخدمهما دافى كدليل لاجراء بحوثه الأولى .

همفري دافى Humphry Davy : - ولد همفري دافى في بيزانس (كورنواي) في سنة 1778 . ويعكس ما كان عليه مواطنه دالتون ، انحز دافى مساراً باهراً في مختلف المؤسسات العلمية فاعطاها الشهرة بفضل أهمية أعماله . وفي العشرين من عمره اصبح رئيس مختبر في منشأة في برينستون « مؤسسة بنوماتيك » . وقام ببحوث فيها حول الغازات وبصورة خاصة حول بروتوكسيد الأروت . وفي سنة 1801 استدعي الى لندن حيث اعيد تنظيم مختبرات المؤسسة الملكية في بريطانيا ، التي سبق تأسيسها منذ ثلاث سنوات من قبل بنجامين تومسون لغاية خيرية انسانية . والأعمال التي نفذها دافى في هذه المنشأة جلبت له شهرة كبيرة . وقد طُبِعَ عمله بعمق التقدم في الكيمياء والفيزياء طيلة الربع الأول من القرن التاسع عشر . ومات العالم الانكليزي الكبير باكراً ، في سنة 1829 .

وحلل دافى البوطاس في صفائح ونجح في تفكيكه سنة 1807 . واكتشف هكذا البوتاسيوم ثم السوديوم بعد ذلك بقليل . وأثار الاعلان عن هذا الاكتشاف أكبر الاهتمام . وعرف الكيميائي الألماني سييك Seebeck ان مستحضرات تفكك الباريت والسترونتيان لها مظهر المعادن . وحضر السويدي ترومسدورف Tromsdorff بطريقة الالكتروليز مزيجاً من الأمونيأك . وبعد ذلك بأشهر بدأ دافى متابعا بحوثه بعزل الباريوم المزوج بالحديد . وتعلّم من برزيلوس وبونتين Pontin الوسيلة في استخدام الرئيق ككاثود للحصول على مستحضرات التفكك ، ونجح تبعاً في عزل الباريوم والسترونتيوم والكالسيوم والمغنيزيوم . وهناك تربة أخرى مثل الألومين والغلويسين ، والسيليس (الصوان) قاومت تجاربه ، ولكنه اشبه بوجود معدن في تركيبها .

الاصلاح في نظريات لافوازيه : - هذه السلسلة من الاكتشافات ، والمنفذة في عدة أشهر ، طولت لائحة الأجسام البسيطة ولكن فضلاً عن ذلك قدمت للمجريين ، بواسطة المعادن القلوية ، عوامل كيميائية أساسية ، من بين العديد من الاكتشافات ، اكتشاف الكلور كمصنوع بسيط ، وهذا المفهوم فرض نفسه على أثر أعمال غي لوساك وثينارد Thénard من جهة ، ودافى من جهة أخرى ، وكلها بين 1808 و 1810 .

حتى ذلك الحين وتحت تأثير نظريات لافوازيه كان الكلور يعتبر مركباً من الاوكسجين ومن عنصر مجهول . ودراسة أثره على أحادي أكسيد الرصاص والفحم ثم البيوتاسيوم قادت إلى تصحيح هذا الخطأ. الأمر الذي أدى إلى اصلاح النظرية القائلة بأن كل الأسيدات يدخل فيها عنصر الاوكسجين ، وقد بطلت هذه النظرية باكتشاف اليود سنة 1811 على يد صانع « الملح البارود Salpêtre » اسمه كورتوا Courtois . ودرس كليمان Clément أولاً اليود الذي لم يكن معروفاً إلا عندما تنافس عليه غي لوساك ودافى لوصف خصائصه وذلك حوالي 1813 .

عودة ظهور مبدأ كوني : - كل هذه التجديدات غدت تأملات الكيميائيين من كل البلدان . وبرزت على التوالي نظريات عدة محاولة تأويل طبيعة العناصر الجديدة . وتدخلت الكهرباء في لعبة التألف . فمنه ، أي من هذا التألف ما أعطى للهيدروجين أو الأزوت دوراً غريباً يذكر بدور المبدأ الكوني المسمى « الفلوجيستيك Phlogistique » قبل حقبة لافوازيه . وبعد ثلاثين سنة من أعمال الكيميائي الشهير فان الكثير من خلفائه احسوا بمصاعب كثيرة في التعرف ، كعناصر بسيطة ، على العناصر التي يكشفها التحليل على أنها بسيطة . ان هذا الانبعاث المتأخر جداً لفلسفة مضى عليها الزمن - حول المادة - هو مثل جيد حول الموانع التي اخرت التقدم العلمي ، وتزداد قيمة هذه الفلسفة لكونها ليست من صنع كيميائيين من الدرجة الثانية بل من الأكثر شهرة .

القوى الكيميائية والقوى الكهربائية : ان تفسير التفاعلات الكيميائية بواسطة القيمة الكهربائية قد سبق اكتشافات دافى في السابق طرح برستلي ماثلة القوى الكهربائية ، والكيميائية ، وأخذ الفكرة الألمانيان ونترل Winterl وريتير Ritter . وكان هذا الأخير أول من لاحظ في سنة 1798 ، أن المعادن تصنف في نفس المرتبة إذا نظرنا إلى سهولة اكسدها أو إلى خصائصها الكهربائية . في سنة 1804 نشر ارستد Oersted نظرية ظهرت فيها لأول مرة وبهذا الشكل فكرة قوتين متعارضتين متناقضتين في كل مكان . الأسيدية والقلوية ، الأكسدة والاختزال ، كلها تنتج في نظره من زيادة احدهما على الأخرى واستخدم مثل البطارية الكهربائية لبيان ان القوى الكيميائية والقوى الكهربائية متماثلة .

وبذات الحقبة تقريباً أعلن أفوغادرو عن نظرية قريبة جداً من نظرية ارستد ، إما أعم . وكان دافى يساهم هو أيضاً في حل أفكار ماثلة . ونظر أفوغادرو إلى خاصيتين مشتركتين بين كل الأجسام : الاوكسجينية والأكسدة ، احدهما تنقص عندما تزداد الأخرى . فقرر وضع تصنيف للأجسام يتطابق مع التصنيف الحاصل بفضل الطريقة الكهربائية .

ج . ج برزيلوس Berzelius : وأخذ برزيلوس كل هذه الأفكار وابتكر نظاماً أثر في كل النظرية الكيميائية حتى أواخر القرن التاسع عشر . ولد برزيلوس سنة 1779 في وفرموند في السويد

ودرس دراساته الطيبة . وعين استاذاً في ستوكهولم سنة 1807، وتابع مهمته في هذه المدينة . وفي سنة 1832 ، اعفي من كل مهماته التعليمية واستطاع ان يتفرغ تماماً لبحوثه والمختبره الشخصي . ان العديد من الكيميائيين الألمان شكل خاص، جاؤوا بنهون دراساتهم في هذا المختبر ، وفيه حصلوا ، اضافة إلى تكوينهم كمجربين ، على احترام من اجل افكار معلمهم . وبواسطة سمعة المختبر ، والنشرات العديدة التي قام بها برزيليوس ، ورحلاته ومراسلاته ، استطاع أن يوجه الرأي العلمي الأوروبي طيلة ربع قرن من الزمن . ولكن تأثيره امتد لمدة طويلة بعد موته سنة 1848 .

ارتكز نظام برزيليوس على هذه الفكرة ان اصغر جزء في جسم بسيط مزود بقطبية كهربائية ، ولكن عند القطبين لا تعادل كهرباء كل اشارة . وهكذا يقدم كل جسم مزينة كهربائية ايجابية أو كهربائية سلبية . وعرفت هذه النظرية حتى بداية قرننا هذا باسم النظرية الثنائية اذ بموجبها تتكون كل الأجسام من عنصر أو من مجموعة عناصر كهربائية ايجابية ومن مجموعة أخرى سلبية . ودله التحليل الكهربائي حول غالبية المركبات المعدنية . ومع ذلك فإن بعضاً من هذه المركبات مثل الاوكسيدات كانت محرومة من الاستقطابية الكهربائية . وسماها برزيليوس الأجسام المجردة أو المحايدة . وقد ثبت فساد النظرية الثنائية كما سترى عند تطور الكيمياء العضوية .

5 - الترميم الرمزي

وجدت النظرية الثنائية، بعد صياغتها ، طريقها في الكتابة بفضل الترميم الرمزي الذي نشره برزيليوس سنة 1818 . ومن المعروف ان الرموز الكيميائية القديمة قد سقطت منذ زمن بعيد ، عندما أعاد اليها قيمتها كيميائيو القرن الثامن عشر الذين وضعوا جداول بالتألفات . واستخدمها لافوازييه عدة مرات ليكتب أولى المعادلات الكيميائية الموحدة في الادب العلمي . واستخدمها برغمان Bergman في جداوله التأليفية . وبعد اصلاح جداول الترميم ، نشر هاسنفراتز Hassenfratz وأديت Adet نظام رموز بسيطة نسبياً . ونجمت اشارات العناصر لتشكيل المركبات . ولكن لم يُعطَ لهذه الاشارات أي وزن نسبي

ترقيم الدالتون: -ان دالتون هو الذي ابتكر أول تمثيل رمزي مرتبط بنظام الذرات، ويجدوله المتضمن الأوزان الذرية . هذا التمثيل متميز ببساطته، فكل الرموز هي دوائر في داخلها تصورات اشارات مميزة، لكل عنصر : نقطة لتمثيل الهيدروجين وخط عمودي قصير للدلالة على الأوزان، الخ . وكتبوا صيغة المركبات بمراكمة الرموز بمقدار الذرات في كل عنصر تدخل في تكوينه . وأوحت تمثيلات دالتون بنوع من البنية الجزيئية، وهو مفهوم لم يظهر إلا بعد نصف قرن بعده . هذا النظام قد استخدم في الكثير من الكتب الحديثة من أجل فهمهم وفهم البنية في الجزيئات العضوية الكبرى . ولكن القليل من المؤلفين المعاصرين يعرفون اسبقية دالتون، الذي لم تستعمل اشارته من قبل أي من معاصريه .

الترقيم الحديث - بمزج عن اعماله حول الاستقطاب أو التماكسية (Polarité) في العناصر وفي الأجسام المركبة ، قام برزيليوس ببحوث حول التركيب الوزني للأجسام الكيميائية . وعاد إلى أعمال رينجر التي وقعت في طي النسيان وعرف بها ، وتبنى آراء دالتون حول النسب المزدوجة والمتعددة وعمل

على وضع جدول جديد بالمتساويات سنداً إلى (مة) من الأوكسجين . وقام بعدة أعمال طويلة في التحليل من أجل تعيين النسب الصحيحة من مختلف العناصر الموجودة في الأجسام المركبة ، وكذلك العلاقات التي تجمع بينها . واختار كرمز لكل عنصر أول حرف من اسمه باللاتينية ، مقروناً بحرف آخر عند الضرورة تحنباً للالتباس . وأخيراً ابتكر استعمال المقلات العديدة في الصيغ تفادياً لمراكمة الحروف ذاتها .

وهكذا نشأ الترقيم الحديث . ودخل هذا الترقيم في الاستعمال سريعاً . ونشر عالم المعادن الفرنسي بودانت Beudant ترقياً أحرف اسمائه باللغة الفرنسية . ولكن كل الكيميائيين كانت لديهم الحكمة في فهم أن الغيرة القومية ان ظهرت في هذا المجال ، فمن المحال امكانية وضع كتابة كيميائية كونية وأصبح ترقيم برزيليوس ضرورياً خصوصاً بعدما تكاثرت أعمال الكيمياء العضوية . ولم ينقطع العالم السويدي عن تحسين هذا الترقيم ولكن كل التغيرات التي ادخلها لم تعمل إلا على زيادة صعوبة الاستعمال ، ولهذا زالت بقلة الاستعمال .

ومن لافوازيه إلى برزيليوس كانت الكيمياء قد تجددت بكاملها خلال أربعين سنة . ويعد تجديدها أخيراً من كل الموانئ التي تراكت في الفرون العشرين الماضية دخلت الكيمياء في المرحلة الحديثة .

II - الذرات أو المتساويات

برزيليوس : الأحجام والأوزان : - عندما نشر برزيليوس ، الموجز حول نظرية النسب الكيميائية في سنة 1818 (ترجم إلى الفرنسية سنة 1819) تضمن هذا الكتاب نوعاً ما أول جدول كامل للأوزان الذرية . ولم يعمل الأستاذ العالم السويدي أية معطيات تجريبية قدمها العلم في عصره . وبطمانينة وثقة جيلتين وضع مقارنة بين قوانين الأوزان وقوانين الغازات . ومع ذلك لم تكن هذه القوانين الأخيرة لتتوافق بشكل مباشر فيما بينها .

وكما رأينا استخلص دالتون الأوزان الذرية للأوكسجين والكبريت والأزوت والكربون والفوسفور من تكوين مركباتها الهيدروجينية : وافترض ان ذرة من الهيدروجين تتحد بذرة واحدة من عنصر آخر ، ثم في حالة وجود عدة خلاطة مع الهيدروجين ، فانه كان يعود إلى أقلها هيدروجيناً لكي يحدد الوزن الذري .

نأخذ مثل الماء ، انه مركب من وزن واحد من الهيدروجين (مأخوذة كوحدة) ومن ثمانين اوزان اوكسجين : وإذاً فصيغته OH (نذكر عابرين إذا نحن اخذنا في الاعتبار تركيب الماء الأوكسجيني ، الذي اكتشفه تينارد Thénard سنة 1818 ، فبالامكان استخراج ان وحدة من الهيدروجين يمكن ان تندمج مع ست عشرة مرة وزنها من الأوكسجين) . وأخيراً في مواجهة هذا دلت التجارب « الأيديومترية » (قياس حجم الاحتراق) أن حجماً واحداً من الأوكسجين يندمج مع حجمين من الهيدروجين (من أجل الحصول على حجمين من بخار الماء) ، مما يؤدي إلى صيغة أخرى للماء هي H_2O .

ولكن ننظر كيف وفق برزيليوس بين هذه المعطيات :

« إذا قارنا معاً الظاهرات المعروفة حول خلاط المواد الغازية نكتشف نفس قوانين النسب الثابتة التي تشبه القوانين التي اكتشفناها من قريب حول نسبها الوزنية . مما اتسع في المجال أمام كيفية تصور الأجسام التي يجب ان تتمزج فيما بينها وهي في الحالة الغازية . وأسماها نظرية « الأحجام » لكي اميزها عن « النظرية الجسمية » ، التي تكون فيها الأجسام ممتلئة في حالة الجمود . ودرجات الدمج هي ذاتها إطلاقاً في نفس هاتين النظريتين ، والشئ الذي يسمى في احدهما ذرة يسمى في الأخرى حجماً .

وقد أثار العديد من العلماء الشكوك حول هوية الذرات والأحجام . ولكن لما كانت النظريتان ليستا إلا اشكالاً تمثل في نظرنا العناصر التي تندمج فيما بينها ، وذلك من أجل فهم أفضل للظواهرات ، خاصة واننا ليس لدينا الطموح في عرض ما يحصل حقيقة في الطبيعة ، وإذا فالنظريتان تكونان جيدتين عندما تعطيان التفسيرات الأكثر بساطة . ولكن لا يكمن هنا فضل النظرية التي تعتبر فيها الذرة والحجم ككسور احدهما من الآخر . مثاله انه لم يقبل القول بأن الماء يتألف من ذرة من الأوكسجين ومن ذرة من الهيدروجين . ولكن بما ان الماء يحتوي على حجمين من الهيدروجين مقابل حجم واحد من الأوكسجين فإننا استنتجنا انه في الهيدروجين والمواد المشتعلة عموماً ليس للحجم إلا نصف وزن الذرة ، في حين في الأوكسجين يكون للحجم وللذرة نفس الوزن . وهذا لم يكن إلا افتراضاً عفوياً لم تكن صحته عرضة للمحصر ، فقد بدا لي انه من الأيسر ، ومن الأقرب إلى الحس السليم ، الافتراض بتقبل نفس النسبة في الوزن بين الحجم والذرة في الأجسام القابلة للاشتعال بدلاً من الأوكسجين . إذ لا شيء يوجب الظن بوجود فرق بينها . وإذا اعتبرنا الماء مؤلفاً من ذرتين من الجذر (الجذر هنا يعني المعنى الذي قصده « لافوازيه » أي : الجزء من المادة الممزوج بالأوكسجين) ومن ذرة من الأوكسجين ، تنمأى النظرية الجسمية ونظرية الأحجام ؛ بحيث ان الفرق بينهما لا يقوم إلا في حالة التجميع حيث تمثلان الاجسام .

ومع ذلك إذا لم ير برزيليوس أية صعوبة كبرى في التقريب بين نظرية الأحجام والنظرية الجسمية - أي في الترجمة الساذجة للقوانين الوزنية - فإنه يركز على هذه النظرية الأخيرة لأن « النظرية الجسمية تمتاز عن نظرية الأحجام في انها اوسع واشمل » . ونفهم بسهولة اكبر هذا الموقف اليوم أكثر من سنة 1818 ذلك ان العناصر الغازية الوحيدة التي قبل برزيليوس بوجودها هي الهيدروجين والأوكسجين .

في حين تُستنتج الأوزان الذرية للأوكسجين والكبريت والأزوت والكربون والفوسفور ، في نظر دالتون من تركيب المزائج التي تمطيها هذه الأجسام عندما تتمزج بالهيدروجين المأخوذ كوحدة قياسية ، كان برزيليوس يرى ان الأوكسجين هو الذي يشكل العنصر المرجعي (100 = O) للنسب الكيميائية . اما الأوزان النسبية في العناصر فتحدد سناً لتركيب اوكسيداتنا .

ان الفرضية الذرية كما تصورها برزيليوس حوالي سنة 1818 ، كانت تتوفق بشكل سطحي خالص بين المعطيات الحجمية المتربة ، والمعطيات الوزنية . وسرعان ما ظهرت اكتشافات جديدة وأفكار جديدة طرحت مشاكل أخرى وفرضت حلولاً أخرى .

دولون Dulong وبيتي Petit : الحرارة النوعية في العناصر : - ان اشياء عظيمة قد حصلت في

ذلك الزمن ، قال فيها بعد ورتز Wurtz وهو يضع تاريخ تلك الحقبة : ان سنة 1819 رأت ظهور مذكرتين لها أهمية بالغة : مذكرة دولون وبتي ومذكرة ميتشرليخ Mitscherlich .

استعمل دولون وبتي نتائج سلسلة عظيمة من التجارب (راجع حول هذا الموضوع الفصل السابق) واتخذوا كوحدة الحرارة النوعية للماء ، ثم أشاروا إلى هذه الملاحظة ، بشكل عام ، وهي ان الحرارة النوعية في العناصر تتناسب عكساً مع اوزانها الذرية ، ويقول آخر ، وبحسب تعبير هذين العالمين بالذات « ان الذرات في كل الأجسام البسيطة ، لها بالضبط نفس السعة بالنسبة الى الحرارة » أو ايضاً أن حاصل ضرب الأوزان الذرية والحرارات النوعية هي دائماً ثابتة .

ومع ذلك ، وحتى لو أخذنا في الاعتبار عدم الدقة التجريبية التي كانت تشوب تحديد كل من العاملين بالنسبة الى حاصلهما ، اضطر دولون وبتي ، من أجل تركيز قانونها إلى قسمة الأوزان الذرية التي افترضها برزيليوس على اثنين ، في عدد من الحالات .

ان اعادة البحث هذه في بعض النسب الكيميائية لم توقفها عن العمل ، وقد احسنا صنعاً حين اشارا بقولها : « يوجد دائماً شيء ما من التحكم في تحديد الوزن النوعي للجزئيات الأولية (الأوزان الذرية) ؛ ولكن عدم الدقة لا يتناول أكثر من عشرين أو ثلاثة يوجد فيها بينها العلاقات الأكثر بساطة » .

ميتشرليخ Mitscherlich والايزومورفية : - بين ميتشرليخ في آخر سنة 1819 ان الفوسفات والزرنيخات من ذات المعدن يمكن أن يكون لها نفس الشكل البلوري ، ويقول آخر ان الاملاح الناتجة عن دمج ذات الركيزة « الباز » مع أسيدات مختلفة ، يمكن ان تكون ايزومورفية (ذات الشكل والتكوين البلوري الواحد) (راجع ايضاً في هذا الموضوع ، الفصل 1 من القسم 4) وبالعكس انطلاقاً من نفس الاسيد مع ركائز « بازات » مختلفة يمكن الحصول على املاح ذات اشكال بلورية متماثلة . من ذلك كربونات الكالسيوم والحديد والزنك والمغنيز واليخ . . في هذه الحالات التي تكون فيها الأبنية المتبلورة متشابهة كيف لا نستنتج القرابة الكيميائية بين المواد - التي يمكن التبادل بينها - والتي تكوّنهما ، أي الذرات . إن تحديد الأوزان الذرية لا يمكنه تجاهل هذه المسائل الجديدة . وفي الواقع ، أن الايزومورفية (التشاكل) المقررة بين أوكسيد الحديد وأوكسيد الكروم مثلاً يجب أن نفرض مراجعة الأعداد النسبية التي أسندت ، حتى ذلك الحين الى هذه المعادن .

ومهم برزيليوس تماماً أهمية هذه المعطيات : فقد فرضت عليه تغيرات مهمة في نظام الأوزان الذرية الذي وضعه سنة 1813 . والجدول الجديد للأوزان الذرية الذي نشره سنة 1826 (وأعيد نشره سنة 1835) لم يعتمد بشكل جماعي . فهناك عدد من الكيميائيين (ومَن لا يستهان بهم) التزموا بالنسب المستخرجة فقط من اعتبار الكميات المتعادلة التي تدخل دمجاً ، مبتغين تجاهل العلاقات الحجمية الثرية التي جهد برزيليوس في اخذها في الاعتبار بقدر المستطاع .

ويادخال مفهوم الذرات المزدوجة قدم برزيليوس هذه المعارضة القوية تنازلاً من شأنه ، ان يضيف مزيداً من الغموض ، بفعل صفته الاصطناعية . هذه الذرات المزدوجة تمثل في الواقع ما يسميه المعارضون النسبة أو المساوي . وعندما كتب رمزاً للماء H_2O ، والأسيد كلوردريك H_2Cl_2 ، والأمونياك NH_3 استمر برزيليوس يظهرها بمثابة H_2O ، H_2Cl_2 ، و H_2Az مع التذكير ، بفضل تلاعب بإشارات

التبيوغرافيا ، بالترميز HO وHCl وH₂Az التي وضعها جيلين Gmelin والقاتلون بالتعاضدية .

تفسير قانون أفوغادرو - امير : - تجاه الذين رفضوا اعتبار العلاقات الحجمية المترية لم يكن أمام برزيلوس الا المجابة بالتفسير المضلل هذه المعطيات الأساسية ، معتبراً بشكل خاص ان الغازات البسيطة وحدها ، وليس الذرات المركبة تخضع لقانون «أفوغادرو - امير» . اذ في النهاية كان هذا القانون هو المحور : وحده الفهم الصحيح لهذه الفرضية الملهمه يستطيع ان يحل التناقضات التي تخبط فيها كيميائيو سنة 1825 . ولكن العلم لم يكن قد توصل بعد إلى هذا . ان الغازات والابخرة ، مهما كانت طبيعتها تتمدد أو تنقلص بذات الكمية في ذات الشروط الحرارية أو الضغط . ولكي يشرح أفوغادرو المفاعيل التي تحدثها القوى الفيزيائية افترض ان الغازات والابخرة تتكون من جزيئات موضوعة على مسافات متساوية ، تبعد او تقرب بذات الكمية تحت نفس التغيرات في الحرارة والضغط . وإذا كان هناك علاقة بسيطة بين أحجاء الغازات وعدد الجزيئات المادية التي تحتويها هذه الأحجام ، فيمكن القول بأن كل الغازات تحتوي في نفس الحجم نفس عدد الجزيئات . ولكن هذه الجزيئات ما هي بالضبط ؟

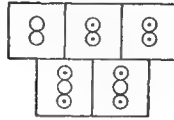
وحيث تتعقد الأشياء قليلاً ، فعندما يريد الكيميائي ، في ضوء هذه الأفكار البحث عن فهم لما يجري عندما تندمج الغازات ، وهي تنقلص بدرجات متغيرة بحسب التفاعلات المدروسة . عندما يندمج حجم من الكلور مع حجم من الهيدروجين يعطي حجمين من الغاز كلوريدريك : وإذا كانت جزيئات الكلور والهيدروجين ذرات عبر متكسرة ، فها تندمج فقط واحدة مع واحدة . ولكن عندئذ ، عندما يحصل التفاعل تكون جزيئات الغاز كلوريدريك ، أقل عدداً مرتين في وحدة الحكم ، مما هو عليه عددها في الغازات المكونة لها ، الأمر الذي باحص فرضية أفوغادرو الأساسية . وكذلك يتكون حجم من الماء اسطلاحاً من نصف حجم من الأوكسجين ومن حجم من الهيدروجين ومن نصف حجم من الأزوت اي بقول آخر : ان المادة الموجودة في وحدة حجم غساز أولي مثل الأوكسجين والهيدروجين والأزوت ، لا تمثل الدرجة القصوى من القسمة التي هي جديرة بها ، إذ في الغازات المركبة تنقسم هذه المادة إلى قسمين أيضاً لتعطي الغاز كلوريدريك والماء أو الأمونياك متمثلة بنفس حجم المرجع .

وهذه الصعوبة لم تكن مستعصية : إذ كان يكفي الافتراض مع أفوغادرو وامير . ان الجزيئات الداجمة التي توجد بعدد متساوٍ في الغازات أو في ابخرة الأجسام البسيطة ، تتألف هي بالذات من عدد من الجزيئات الأولية . وهذا يعني التمييز الذي أصبح كلاسيكياً اليوم ، بين الذرة (وهي جزيء أولي) والجزيء (وهو جزيء دامج) . والنصاميم التالية (انظر الصورة 98) المقترحة حوالي سنة 1833 من قبل مسارك انطوان غودوين Marc - Antoine Gaudin تدل بوضوح على تشكر حريثات سبق ذكرها . وللأسف لم تفهم أفكار غودوين اذ ظهرت صعوبة أخرى ، هي صعوبة أوزان الابخرة غير العادية .



« غاز هيدروكلوريك »

صورة 8 - مخطط يبين تشكل جزيئين من
اسيد كلوريدريك بحسب : « غودين » .



بخار الماء

صورة 9 - تشكل جزيئين من الماء

الثقال الأبخرة والأوزان الذرية : - تعود بصورة أدق الى مسألة النسب الكيميائية . إذا احتوت الأحجام المتساوية من الغازات أو الأبخرة نفس عدد الجزيئات ، فبالإلى تكون الأوزان العائدة لهذه الخلايا متناسبة مع الأثقال . وهنا - يوجد وسيلة لتحديد الأوزان الذرية لمختلف العناصر بشكل مباشر . وحوالي سنة 1826 تصدى لهذه المهمة جان باتيست دوما Dumas ، ثم الهارد منشرليك Eilhard Mitscherlich . أما برزيليوس فقد كان يفترض في فرضية « آفوغادرو » وجود تشابه بين مفهوم الذرة ومفهوم الجزيء ، فكان يقر ضمناً أن جزيئات العناصر ، في الحالة الغازية ، تحتوي دائماً على ذرتين . وفي الواقع أن هذا صحيح بشكل عام .

ولكن هناك استثناءات مهمة . نحن نعرف اليوم أنه إذا وجدت ذرتان في نفس الجزيء من الأكسجين ، أو الكلور أو الهيدروجين أو الكبريت (بالدرجة 800) الخ. فهناك أربع منها في الفوسفور والزرنيخ وفرة واحدة في جزيء الزئبق والكالسيوم .

وفي مشروعه ، اصطدم ج . ب . دوما بهذه الشذوذات غير المرتقبة . فقد اتاحت قوانين الأوزان حساب الأوزان الذرية في الأزوت والفوسفور مثلاً والتي تأخذ في الاعتبار (وتنبئ) عما بينها من تماثل كيميائي ، لقد تشوشت أفكار دوما تماماً بفعل كون الأزوت في الحالة الغازية ثنائي الذرات وكون الفوسفور رباعياً .

« وهكذا إذا لا نقطة وسط ، يقول : يتوجب اما رفض المماثلات في الكيمياء . . أو التسليم بأنه ، في الحجم المتساوي ، لا يحتوي الفوسفور والزرنيخ والأزوت نفس العدد من الذرات . (وكان يكفيه ، فعلاً الموافقة على ذلك أو الإغضاء عنه) .

ويضاح دوما : ماذا يبقى لنا من التسلق الطموح الذي سمحنا لأنفسنا به في منطقة الذرات ؟ لا شيء ، لا شيء ضروري على الأقل . ما يبقى لنا هو الاقتناع بأن الكيمياء قد تاهت هنا ، كما هو الحال دائماً ، عند ترك التجربة ، ثم السعي بدون دليل عبر الظلمات . أما التجربة بين يديك فانك تعثر على مناسبات ونزل Wenzel . . . ولكنك تبحث عبثاً عن الذرات كما صورها لنا خيالنا ، عندما اعطينا هذه الكلمة - المكرمة مع الأسف في لغة الكيميائيين - ثقة لا تستحقها . . . ولو كنت صاحبها ، لمحت كلمة ذرة من العلم ، مقتنماً بأنها تلعب أبعد من التجربة . . . »

إن التأثير القوي الذي ناله في تلك الحقبة ج . ب . دوما أعطى لهذا الموقف زخماً خاصاً .

ولد دوما في اليس Alès (غارد) سنة 1800 ، وقد تخصص في بادئ الأمر ، خلال إقامته في سويسرا بالفيزيولوجيا ونجح . ولما عاد إلى باريس وعمره واحد وعشرون سنة أخذ ، وبسرعة يتجه انهماكاً أكاديمياً متقدماً . وكانت حياته العلمية الناشطة قصيرة نسبياً . وانطلاقاً من الامبراطورية بشكل خاص ، سيطرت السياسة على اهتماماته ، ويعود الفضل إليه في انجاز عمل علمي مهم منه بحوث حول الاستبدالات ، تعتبر بدون شك الأجل والاكثر خصباً . ومات في كان سنة 1884 بعد ان كرس القسم الأخير من حياته في تحرير الاشادات الاكاديمية .

هذه إذاً ، وبناءً على النصائح المسموعة من « دوما » ، كلمة ذرة ، غمى من العلم - بصورة مؤقتة على الأقل - والكيميائيون مدعوون الى الالتزام عند مستوى التجربة الخالصة وها نحن في ازهى أيام الحركة « المتعادلة » . وفي مواجهة واقع مستعصم لم تعد للغة - الترميز الكيميائي - الأقيمة نسبية خالصة واصطلاحية .

كتب دوما الاسيد الآستيكي بهذا الرمز $C_6H_6O_6$ ، وكتبه Liebig $C_6H_6O_6$ ، ولكن في أي جسم عضوي مؤلف من كربون وواوكسجين وهيدروجين تؤثر ، ليس فقط ، النسب الوزنية بين مختلف العناصر التي تكون هذا الجسم ، بل أيضاً ضخامة الحلية ، ودرجة تركيزها ($C_6H_6O_6$ مثلاً ، أو مضاعفاته ؟) . ومن أجل رفع هذا الاشكال المهم ، ارتضى الكيميائيون في سنة 1840 ، وعلى سبيل الدلالة ، العودة إلى حجم غازي يمكن ان يكون ، بالنسبة إلى حجم 8 غ اوكسجين (يؤخذ كوحدة) ، اما 2 أو 4 . وافتراضوا يومئذ ان بعض المركبات يمكن أن تأخذ حجم 6 أو 8 أو 12 حجماً في الحالة البخارية .

جيرهارت Gerhardt واصلاح المتعادلات : ان جيرهارت هو الذي أعطى في سنة 1843 (وكان عمره سبعاً وعشرين سنة) لهذه المسائل بداية الحل النهائي ، وإن الضوء هذه المرة من الكيمياء العضوية ، أو بالأحرى من تصادم كل المعطيات الحاصلة ، في مختلف مجالات علم في أوج تطوره .

ويعتبر جيرهارت بدون شك ، مع صديقه لوران Laurent ، الكيميائي الذي يمثل خبر رمز يميز هذه الحقبة الرومنطيقية من الكيمياء ، التي تتوهج بالأفكار وبالتناقضات . ولد جيرهارت في ستراسبورغ سنة 1816 وقد تأثر في بادئ الأمر بالعالم القوي ج - ب . دوما ، وعين استاذاً في موسيله سنة 1838 . ولكن مزاجه الجموح ، وجراءة نظرياته لا يمكن ان تساعد على نجاحه في الجامعة ، وفي ستراسبورغ ، لم يحصل على منصب ، حيث الوسائل المادية كانت تعطل له بالقطارة ، الأقبل وفاته بستانين ، هذه الوفاة التي وقعت سنة 1856 . وترك هذا الرجل الذي مات ابن اربعين أثراً عميقاً في كيمياء عصره .

في كتابه « موجز الكيمياء العضوية » (1844) لاحظ جيرهارت « الشذوذ الفريد الذي أدخله الكيميائيون في ترقيم المعادلات » .

كتب يقول : « في الكيمياء المعدنية اتخذ الكيميائيون كحد للمقارنة ، إليه ترجع كل المتعادلات ، وزن مئة للأوكسجين ، في حين اعتمدوا في الكيمياء العضوية ، ولنفس الاستعمال وزناً قدره مئتان . وإذا استندوا للمتعادل في الأوكسجين العضوي ضعفي وزن الأوكسجين المعدني .

وقد ادركنا هذا الخطأ ونحن نحلل عدداً كبيراً من التفاعلات العضوية ، وفيها شاهدنا دائماً - عندما يتعلق الأمر بالاسيد كربونيك وبالماء - $C: O_2$ ثم $H_2 O_2$ ، اي كميات مضاعفة عن الكميات التي تعتبر كمعادلات في الكيمياء المعدنية . هذا الحدث يتوافق مع هذا الظرف الآخر وهو انه في كل المعادلات العضوية المدروسة بصورة كافية عن طريق التجربة مثلت مساويات الكربون والأكسجين باعداد مزدوجة ، ومساويات الهيدروجين باعداد قابلة للقسمة على أربعة .

نكتب هنا ، مثلاً في النظامين ، صيغة الأسيدات العضوية التي كانت قد اكتشفت في الوقت الذي تكلم فيه جيرهارت . منذ هذا الوقت أصبحت التجارب متعددة بشكل كاف ، حتى ليتمكن التأكيد انه بين اعضاء هذه العائلة لا يدخل اي أسيد آخر .

بالنسبة الى $16 = O$ و $6 = C$	بالنسبة الى $16 = O$ و $12 = C$	
$C_2 H_2 O_2$	$CH_2 O_2$	أسيد فورميك
$C_2 H_4 O_2$	$C_2 H_4 O_2$	- أسيتيك
$C_2 H_6 O_2$	$C_2 H_6 O_2$	- بروبيونيك
$C_3 H_8 O_2$	$C_3 H_8 O_2$	- بوتيريك
$C_4 H_{10} O_2$	$C_4 H_{10} O_2$	- فاليريك
$C_5 H_{12} O_2$	$C_5 H_{12} O_2$	- كابرويك
$C_6 H_{14} O_2$	$C_6 H_{14} O_2$	- اونانيليك
		الخ

ولكن لمتابع جيرهارت ، فمامام الوقائع التي جمعها لا يمكن في النهاية ، وبحسب رأيه ، الاختيار الا بين الاستنتاجين التاليين : أو ان $H_2 O$ و $C: O_2$ هما يمثلان متعادلاً واحداً أو هما يعبران عن متعادلين .

« في الافتراض الأول ؛ يتوجب إذاً تضعيف معادلات الكيمياء المعدنية حتى تتلاءم مع المعادلات العضوية ، وهذا الذي اقترحنا تطبيقه أولاً . وفي الفرضية الثانية ، يتوجب بالعكس ، اخذ نصف غالبيتها من بين الصيغ العضوية ؛ ونحن اليوم قررنا اخذ هذا الجانب الأخير ، ونشرح بسهولة كيف دخلت هذه الاخطاء في العلم ، فقد اعتبر الماء كمركب من معادلات متساوية في كل عنصر ، وقد استنتجنا هذه النتيجة وهي ان الاوكسيدات المعدنية الموافقة وذات التركيب المماثل ، يجب أن يعبر عنها بالرمز (MO) .

ومن أجل تحديد معادلات المواد العضوية توجب بالضرورة البدء في تحليل الاملاح ، لأن رموز المواد الحيداية لم تقرر الا بمساعدة الاعتبارات المرتكزة على التفاعلات ، من ذلك مثلاً ان معرفة رمز الاسيد أسيتيك قد اتاح استخراج رمز الكحول الخ ... وإذا فقد تم تحليل أسيتات الفضة . ومن كمية المعدن الحاصلة بفعل التحليل استخرجت كمية أوكسيد الفضة المفترض في الملح . وبامعان النظر في هذه الكمية واعتبارها كمعامل ، تم استخراج رمز المادة العضوية .

هذا الأسلوب في العمل كان يمكن أن يكون دقيقاً لو لم يكن هناك الآاسيدات وحيدة الركيزة (مونوبازية، أي وحيدة العشق للباز)، ولكن اليوم لم يعد هذا الأسلوب كافياً. فهو يتضمن أيضاً فرضية من حيث أنه يفترض سبق وجود الماء في الآاسيدات وسبق وجود الآوكسيدات المعدنية في الأملاح. فهي إذاً تُجمع بشكل مسبق عناصر كل آسيد أو ملح عضوي في قسمين، الآسيد الأنديري والآوكسيد، أي أنه بالنسبة إلى كل آسيد بشكل خاص، يقضي هذا الأسلوب بوضع فرضية جديدة وإبتكار وجود جسم مجهول. إذ من بين المثة وبعض المثة من الآاسيدات العضوية المعروفة اليوم. قلما يوجد أربعة أو خمسة قادرة على خسارة عناصر الماء بحيث تستجيب لهذه النظرية.

ومن بين النقاط الأخيرة في استدلال جيرهارت، هناك إشارة إلى اكتشاف عظيم الأهمية قام به الإنكليزي غراهام سنة 1823. فقد بينَ هذا الأخير أن الآسيد فوسفوريك العادي وأملحه المتنوعة يمكن أن تعتبر مزج « ذرة » من الآسيد الفوسفوريك (P_2O_5) مع ثلاثة ذرات من بار قابلة - استبدال بذرة أو ذرتين أو ثلاث من الماء. هذا العمل، وتطوراته، غير المفهومة تماماً من جانب الكيميائيين المشبعين بالروح الثنائية، لم يكن له ولها إلا خصوصية سلبية خالصة. وفيما يتعلق بنظرية النسب الكيميائية، عرف جيرهارت كيف يستخرج من وجود الآاسيدات المتعددة البازية استنتاجات رئيسية. والمفاهيم التي توضحت أخيراً، والتي أدخلها جيرهارت حوالي سنة 1843، وضعت أسس جدول للأوزان الذرية بقيت معتمدة من قبلنا. وقد استكملت هذه المفاهيم من قبل لوران Laurent الذي أوضح في سنة 1846 بصورة أفضل من جيرهارت، مفاهيم الذرات والجزيئات، وبصورة خاصة من قبل كانيزارو Cannizzaro، بعد ذلك بحوالي اثنتي عشرة سنة، كانيزارو الذي وضع بصورة نهائية الوزن الذري الحقيقي للمعادن المتعددة التكافؤ (جيرهارت ضحّف مرتين، وبصورة منهجية الوزن الذري لكل المعادن)، وهكذا وضعت النقطة النهائية لمناقشة شغلت الكيميائيين طيلة نصف قرن تقريباً. والحقيقة أن دعاة المتعادلات شنوا طيلة كثير من السنوات حروب مدافعة. وقد وجدوا حجة جديدة تواجه فرضية أفوغادرو في التغيرات التي تصيب بعض أوزان الآبخرة في الدرجات العليا من الحرارة، وهي تغيرات يسهل تفسيرها بفعل « الفصل بين » بعض المركبات إلى جزيئين يمودان، عند البرد إلى الامتزاج، والأمر الغريب أن سانت-كلير دوفيل Deville، الذي إليه يعود فضل هذا الاكتشاف لظواهرات الفصل (1864)، كان واحداً من أولئك الذين استمروا في هذه المناقشات المتأخرة.

في حين كانت تدور هذه الصراعات الفكرية التي قدمنا صورة عن اتجاهها العام، تطور العلم الكيميائي على كل الجبهات، مقدماً شكل مستمر مواد جديدة للبناء القائم على قدم وساق.

وقد تحسنت الأساليب التحليلية التي كانت بدائية في أول العصر تحسناً كبيراً. واقتراح جوستوس ليبيج Justus Liebig (1803 - 1873) في سنة 1831 طريقة سهلة لتعيير الكربون والهيدروجين في المواد العضوية. وكان دوماً من جهته قد حل مسألة تعيير الآزوت.

إن الفحص الانتقادي لفرضية وليم برووت Prout (1815) (والتي تقول أن غمشل الأوزان الذرية للعناصر بمضاعفات صحيحة لعنصر الهيدروجين، يتطلب تحدييدات تحليلية ذات دقة لم يكن لها

من مثل بومبتيه ، ومن بين الكيميائيين الذين برزوا في هذا المجال الجهود ، إنما ذو الفائدة الأكيدة ، يبرز البلجيكي ستاس Stas بحيث يستحق ذكراً خاصاً .

ان المعايير الفيزيائية للنقاوة بعد ان ظلت لمدة طويلة شبه استهلامية أصبحت موضوع قياسات دقيقة . واخترع روبرت ويلهلم بونسن Bunsen ، وغوستاف روبرت كيرشوف Kirchhoff « السبكتروغرافيا » ، مبيّن ان كل عنصر يمتلك خصائص ذاتية ، فيما يتعلق بالضوء المنبعث عنه .

فضلاً عن ذلك استطاعت لائحة العناصر الجديدة بصورة تدريجية وبشكل ضخم : في سنة 1870 كان من المعروف أربع وستون عنصراً ، اي ما يعادل ضعفي ما كان برزيلوس قد احصاه سنة 1818 .

التصنيف الدوري الذي وضعه مندليف Mendeleev : هذا الفيض من المعطيات الجديدة تطلب جهداً تصنيفياً ضخماً . وقد بدأ منذ زمن بعيد وجود « عائلات طبيعية من العناصر التي سلكت اعضاؤها المختلفة سلوكاً كيميائياً متقارباً جداً : من ذلك مجموعة الهالوجينات (فلور وكلور وبروم ويود) والمعادن القلوية ، الخ . . . ولكن وان لم تستطع اية انتظامية صالحة ان تبدو مقبولة في نظر انصار المعادلاتية ، فان ثقل الأوزان الذرية الجديدة سوف يسمح لديمتري مندليف (1834 - 1907) ان يقترح « تصنيفه الدوري » الشهير للعناصر .

ان الكيميائي الروسي ، بفضل ما كان عليه من بعد النظر لم يستطع اي من معاصريه الذين تحركهم اهتمامات ماثلة (ومنهم شانكورتوا Chancourtois ، ونيولاند Newlands ، ولودار ساير Lothar Meyer) منازعته بعد ان بين أن الخصائص الكيميائية للعناصر تتبع بصورة دورية اوزانها الذرية .

وعرف مندليف الحالة الاولى من تصنيفه في آذار سنة 1809 (راجع الصورة رقم عشرة) ؛ منذ بداية 1871 اعطى مندليف للحالة الاولى من تصنيفه ترتيباً جديداً قلما يختلف عن الترتيب المعتمد نهائياً .

وصنف العناصر المعروفة بحسب اوزانها الكيميائية المتزايدة ، « سائراً على الخط ، Va à la ligne » بحيث ان العناصر التي يقترب سلوكها الكيميائي من بعضه البعض ، تنحصر في عامود واحد (بحيث تشكل مجموعة) . وهكذا تقع أقل من ذرّة من العناصر على نفس الخط الأفقي . ومن هذا التصنيف (الذي يعرف اليوم انه يرتكز على قواعد عميقة : ان عدد الالكترونات في الطبقات الجوانبية التي تحيط بالنواة ، هو الذي يتحكم بالخصائص الكيميائية للعناصر) ، استنتج مندليف بجرأة ملهمة استنتاجات سوف لن تتأخر في إظهار مقدار أهمية اكتشافه .

ولكي تستطيع بعض العناصر ان تحتل موقعها اللائق في « جدول » ، فقد غير ، « بصورة مسبقة » الوزن الذري المقبول حتى حينه . وبينت تجارب لاحقة ان طلب التصحيح هذا كان له ما يبرره (وكان هذا هو حال الغلويسيوم ، الخ) .

ولكن النجاح الاكثر ادهاشاً كان في اكتشاف عناصر توقع هو وجودها ، وقد حفظ لها مكاناً في

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

	Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
	V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
	Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
	Mn = 55	Rh = 104.4	Pt = 197.4.
	Fe = 56	Ru = 104.4	Ir = 199
	Ni = 59	Pd = 106.6	Os = 199.
H = 1	Cu = 63.6	Ag = 108	Hg = 200
Be = 9.4	Mg = 24	Zn = 65.2	Cd = 112
B = 11	Al = 27.4	? = 68	Ur = 116
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122
O = 16	S = 32	Se = 79.4	Te = 128?
F = 19	Cl = 35.5	Br = 80	I = 127
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85.4
		Ca = 40	Sr = 87.6
		? = 45	Ce = 92
		?Er = 56	La = 94
		?Yt = 60	Di = 95
		Th = 75.6	Th = 118?

Д. Менделѣевъ

صورة 10 - تجربة نظام عناصر ، ورقة وزعها مندليف على الفيزيائيين والكيميائيين الروس .

جدوله ، رغم انها كانت ما تزال مجهولة حتى ذلك الحين .

وقد جاء عزل الغاليوم والسكانديوم ، والجرمانيوم ، وهي عناصر استشرع هو خصائصها نظرياً واعلم عنها ، ليؤكد بوضوح صوابية الهام الكيميائي الروسي الكبير .

وفي سنة 1894 عندما اكتشف الانكليزي راسي Ramsay ، في الفضاء ، الغازات النادرة (النيون والكريبتون ، الخ) التي لا تمتلك أية اشعاعية عملية ، اضيف عامود إلى جدول مندليف ، الأمر الذي زاد ، أخيراً ، في تماسكه .

وفي السنوات الأخيرة من القرن (التاسع عشر) جاء اكتشاف الراديوم (من قبل بيار كوري وماري كوري) والبولونيوم (م. كوري) والاكينيوم (ديبيرن (Debierne) بصورة مؤقتة يكمل لائحة العناصر . وكانت هذه العناصر الأخيرة مشعة : ان وجود هذه الخاصية الجديدة فتح آفاقاً جديدة غير متوقعة وهو قد طرح مسائل جديدة سوف تتبع حلولها ، بصورة تدريجية ، الايفال أكثر فاكثراً في المعرفة الوثيقة بالمادة ، بهذه الذرة التي جهد علماء الكيمياء في القرن التاسع عشر في تبينها - وبالنسبة الى البعض - تقبل حقيقتها .

التأثير الشيء لنظرية المتساويات المتأخرة : ان المناقشات التي سبق ذكرها ارتدت بالفعل في فرنسا بشكل خاص نوعاً من العاطفة التي يصعب علينا تصورها اليوم ، والصراع بين القائلين بالذرة والقائلين بالمتساويات قد أثر ، في هذا البلد بشكل خاص ، على تطور الكيمياء تأثيراً هو الاسوأ .

ورغم جهود العلماء بحق أمثال أدولف ورتز Wurtz ، وكان زعيم الذرانية في فرنسا ، بفضل مواقفهم الرسمية ، وشهرتهم ومواقعهم الطليعية في التعليم ، نجح القائلون بالمساويات (سانت كلير دوفيل و برتولوت Berthelot بشكل خاص) في فرض تصوراتهم البالية حتى أواخر القرن . لأن المساواتية ، والحالة الفكرية التي تقتضيها هذه المساواتية لم تقتصر على الخلافات حول مسائل الترميز أو الترميز : أمام مسائل بنية المركبات العضوية ثم التطور المذهل في مجال التركيب الذي جعلته النظرية الذرية ممكناً ، لقد شكلنا عائقاً كان لا بد لنا من المعاناة من نتائجه .

III - بنية المركبات العضوية

مفهوم البنية : - ان المناقشات التي تتبعناها لها علاقة بمعرفة العناصر القصوى : فهناك مناقشات أخرى استمرت بأن واحد ، ملتبسة بشكل ضيق بالأولى وقد تناولت ترتيب هذه العناصر - التي هي في المآل الأخير قليلة العدد - مجموعة لشكل مواد يبدو تنوعها بدون حدود .

ان معرفة بنية مطلق مادة ، هو بالدرجة الاولى امكانية وصف ترتيبها الفضائي ، وهيكلية الذرات التي تتكون منها هذه المادة . هذه فكرة أولى . ولكن من يقول بهيكلية جزيئية يقول أيضاً بالرابط بين مختلف عناصر المجموعة ، بالرابط بين الذرات بالذات وبالتالي تقريباً بتفاعل الذرات فيما بينها . وأخيراً تضاف إلى هاتين الفكرتين الأوليين ، وفي داخل كلمة هيكلية ، فكرة ثالثة ، هي فكرة التمثيل والتصنيف أي اعطاء رمز مناسب لهذه الحقيقة المادية التي تحاول المعرفة بلوغها .

وفي مواجهة هذه المسألة ، مسألة الهيكلية ، وكذلك كما رأينا في مواجهة مسألة الذرات يبدو ان الكيميائيين من أواخر القرن قد اعتمدوا مواقف فلسفية جد متنوعة . فبالنسبة الى الذرات ظلت الحقيقة التي يتداولونها خفية وغير ممكنة البلوغ : فهي حقيقة الشيء الذي هو كائني (نسبة إلى كانت) في ذاته . وحدها الروابط بين الظاهرات تبدو قابلة للمعرفة . وليس من الغرابة في شيء بعد ذلك ان يكون الاهتمام الاساسي لدى هؤلاء المفكرين هو وضع تصنيفات مناسبة . فبالنسبة اليهم بدت الصيغ الكيميائية (المعادلات) رموزاً ، ولا شيء أكثر ، وأفضل هذه الصيغ هي الصيغ التي تمثل أكثر ما يمكن من الوقائع ، وبالشكل الأكثر تماسكاً : ان علمهم المثالي يشبه كثيراً لغة جسيمة الصنع

والخدر تجاه النظريات هو مكوّن آخر لهذه الحالة الفكرية التي جعلها تأثير «الوضعية» أكثر تقبلاً ، بشكل خاص .

ومعارضة لهذا التوجه الأول كان طموح عائلة أخرى من الكيميائيين مختلفاً تماماً : انهم كانوا ييغون الوصول إلى الحقيقة بالذات ، فقد حزروا أن الذرات والجزيئات هي أشياء مادية وأرادوا أحياناً بسداجة مؤثرة القيام بوصفها . ان الصيغ الكيميائية لم تعد بالنسبة اليهم مجرد رموز اصطلاحية . فقد ارادوا أن تكون تصاميم حقة بل خططاً تقريبية بالمعنى الذي يعطيه المهندس لإيضاح عمل يقوم بوصفه او يعتزم بناءه .

الثانية الكهروكيميائية : - ان فكرة التجمعات الخاصة من العناصر داخل مادة ما يعود تاريخها

بدون شك الى لا فوازيه ، فهذا الاخير أعطى للأوكسيجين كما هو معلوم دورا رئيسيا في كل المركبات الكيميائية . وقد امكن القول انه رأى في الكيمياء تجزراً حول الأوكسيجين ومركباته ، ان الجذر -Radi cal هو القسم من المادة المزوجة مع الأوكسيجين . وكان هذا التعريف واسعاً جداً ويمكن ان يطبق أيضاً على كثير من العناصر كما يطبق على مجموعات أكثر تعقيداً : في الاسيد كربويك يمكن ان يكون الجذر الكربون بالذات ، وفي الاسيدات ذات المشأ العضوي يمكن أن يكون الراديكال « الأوكزاليك » أو « التازترك » . ومنذ اللحظة التي عثرت فيها الفرضية الدرية ، وبصورة تدريجية ، على ركيزة تجريبية أقل حضوراً للنقاش ، طرحت مسألة ترتيب الذرات في المادة ، بعبارة أكثر دقة : ان المفاهيم التي تركها لا فوازيه سوف تتغير أولاً ثم تتعمم في النظرية الكهركيميائية .

فهذه النظرية تعتبر الاجسام المركبة وكأنها مكونة من جزئين أو من مجموعتين جزئيتين متضادتين ، وقد ميز لا فوازيه ، في كل منها العنصر المساعد على الاحتراق (Comburant) والعنصر القابل للاحتراق (Combustible) : وترى النظرية الكهركيميائية في العنصر الأول جسماً سلبياً وفي الثاني جسماً ايجابياً ؛ وسوف يقول ج-ب. دوما هذا الشأن : انها نفس الفكرة ، أساساً .

لقد رأينا ان برزيليوس ، وهو بطور أفكار دافي ، الذي أدت بحوثه الى اكتشاف عناصر قلووية ، قد اقترح منذ بداية القرن ، تفسيراً عاماً للظواهر الالكتروليتيكية . فهو قد افترض ان كل الاجسام تستقطب استقطاباً مختلفاً بفعل مرور التيار . فلكل ذرة قطبان مشحونان كهربيان ذات اشارات متضادة ، وبحسب غلبة الشحنة الايجابية أو السلبية ، توجد ذرات ذات كهرباء ايجابية وذرات سالبة الكهرباء . وفي المزيج ، تتجاذب الذرات بشحناتها المتعاكسة . وعندما نحلل كهربائياً (electrolyse) سولفات البوتاسيوم ، مثلاً ، يذهب الاسيد سولفوريك ، وهو عنصر سالب الكهرباء ، الى القطب الايجابي ويذهب البوتاس الى القطب السلي .

انتقاد الثاقبة : - ان مثل هذه الملاحظة ادت بانصار الثاقبة الى تمثيل سولفات البوتاسيوم بالمعادلة $SO_4 + HO$. وبشكل أكثر عمومية ، بدت نتائج التفاعلات في التشكل والتفكك وكأنها تفرض وجود مجموعات من الذرات في الاجسام المركبة .

وقد لاحظ لوران بذكاء شديد فقال : لنعد الى مثل سولفات البوتاسيوم : « وبالارتكاز الى التجربة ، اي الى تفاعلات اخرى ، نستطيع ، وبحق ، الادعاء بان الذرات تجتمع على الشكل التالي : $SO_4, K, SK + O_2, SO_4, K$ ، الخ » .

وبالفعل ، فرح الكيميائيون ، في هذا المجال أشد الفرح . في مجال الكيمياء العضوية ، حيث الاشياء أقل بساطة ، نظراً للعدد الكبير من الذرات العاملة ، وجدت الثاقبة الالكتروكيميائية التي ظل برزيليوس داعيتها طيلة حياته ، تعبيرها في نظرية الجذور .

قال دوما وليبيغ مجتمعين في سنة 1837 : « اذا كانت الجذور في الكيمياء المعدنية ، بسيطة ، فهي في الكيمياء العضوية مركبة » وهكذا سلمت وحدة النظرية الكهركيميائية . وعلى كل لم يسد

الاتفاق أبداً حول طبيعة هذه الجذور بالذات التي كان من المفترض ان تجعلها تفاعلات التفكيك والتشكل أكيدة .

قال لوران Laurent أيضاً : « لاعطاء فكرة عن الفوضى السائدة في الكيمياء العضوية ، لن ابحث في تركيب جسم معقد وغير معروف ، لا ، سأخذ الأيسر . والاكثر شيوعاً من بين كل الأميدات ، وهو الأميد أستيك . ان ترتيب ذراته يعرض على الشكل التالي .



وقد نيت منها اثنين او ثلاثة ، هذه هي : $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}_2$; $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}_2$; $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}_2$

ولست ارى لماذا يجب ان اعمل معادلة م . لونشان Longchamp : $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2 + \text{O}_2\text{H}_2$

ومعادلة م . غراهام $\text{C}_2\text{H}_5 + \text{O}_2\text{H}_2$ ، الخ »

هذه التجميعات للذرات التي تجمع بالفكر داخل نفس الهالين ، هذه الجذور الافتراضية تنتشر الى درجة انها تكسح الكيمياء كلها . ويبدو انها قد ذكّر منها 111 نوعاً في «كتاب الكيمياء » الذي وضعه ليبغ (Liebig) .

وكان لدى لوران اسباب وجيهة ليؤكد بحماسة المتعاد :

« بين العلوم التجريبية ، يوجد علم يصنف عقوياً بين العلوم الصحيحة ، رغم ان هدفه هو دراسة الأجسام التي لا وجود لها : اي الكيمياء . . . واضيف ان الكيمياء تزعم انها تعلمنا ، ليس فقط خصائص الأجسام التي لا وجود لها ، بل أيضاً خصائص الأجسام التي لا يمكنها ان توجد . . . »

ومع ذلك فقد كان لوران غير منصف جزئياً .

ان هذه الفكرة حول الجذر ، لم تكن عقيمة تماماً ، خاصة وقد ثبت ان النظرية ، حتى ولو كانت خاطئة ، تبقى فعالة بمقدار ما توحي بتجارب ويقدّر ما تساعد على اكتشاف وقائع جديدة .

ولكن من الثابت انه رغم الأعمال الجميلة التي قام بها ليبغ واوهلر Wohler حول الجذر « بنزول Benzoyl » ، توصلت الكيمياء إلى طريق مسدود كان من الواجب الخروج منه .

ظواهر الاستبدال : انطلق لوران من ملاحظة يعود الفضل الأول فيها الى ج . ب . دوماس ، فوجد في ظواهر الاستبدال الحجة التي تدمر بصورة نهائية العقائد الثنائية .

ان اوغست لوران هو بالتأكيد احد الوجوه الأكثر جاذبية في هذه الحقبة العظيمة . لقد ولد ، قرب لانسر ، سنة 1803 وتخرج مهندساً من مدرسة المناجم في باريس ، وبدأ في العلوم الى جانب ج . ب . دوماس الذي سرعان ما اختلف معه لتعارض الأمزجة . واشتغل في « مصنع سيفر اليلوي » ، وأسس مدرسة خاصة للكيمياء ، ثم ، بعد اقامة وجيزة في لوكسمبورغ ، عين استاذاً في بورجو ، بعد أن قدم اطروحة في الظروف الأكثر عصفاً . وفي سنة 1848 ، امكته العودة أخيراً إلى

باريس ، بلقب مجرب في وزارة النقد « Monnaie » . ولكن السل تمكن منه فعات سنة 1853 وقد انهكته الجدالات والحرمات .

ذكر دوماس ، حوالي 1833 ، وهو يعالج بعض الكربورات ، ان الهالوجين « يمتلك القدرة المعجبة على الاستيلاء على الهيدروجين ليحل محله ذرة ذرة » . تجاه هذه الظاهرات اتخذ دوماس موقفاً تجريبياً حذراً ، بل يمكن القول موقفاً حسابياً ؛ فامام المركبات التي استطاع تحويلها ، اكتفى بوضع ميزانية أرباح وخسائر : هيدروجين واحد مفقود ، وكلور واحد مكتسب . وحتى في مختبر دوماس ، كثر لوران التجارب من نفس النوع ، ولكن نجراً فأكّد ان الكلور يحتل بالمعنى الصحيح ، اي يحل محل ويلعب نفس دور الهيدروجين المستبدل ، نحن في سنة 1836 . واعطاء الكلور - وهو الجسم الأكثر بسلية من بين كل الأجسام - دور الهيدروجين ، وهو الأكثر إيجابية - يعني تجاهل الخصائص الأكثر بدهاة في الكيمياء المعتمدة . وكانت ضجة كبرى .

ألم يذهب لوران الى حد الزعم بأن النظرية التي اعلنها ، كانت بصورة أساسية ، مختلفة عن الملاحظات التجريبية التي وضعها معلمه ج. ب. دوماس؟ ولم يكن دوماس ، في ذلك الحين على الأقل ، يتمسك بتحمل مسؤولية الأفكار القليلة « الأصولية » التي نادى بها تلميذه الناصر .

قال موضحاً : « لم أقل أبداً ، ان الجسم الجديد المتكون بفعل الاستبدال ، له نفس الجذر ، ونفس الصيغة العقلانية التي للاول . بل قلت العكس تماماً في مئة مناسبة . ولتفضل من يرغب بتبني هذا الرأي أن يدعمه : انه لا يعني » .

وبعد عدة سنوات عندما اكتشف الاسيد تريكلوراسيتيك ، اتخذ دوماس حينها لغة اخرى . ولكن قد حدث ، رغم الافكار المسبقة لدى الأكثر شهرة من معاصريه الذين لم يوفروه من إنقاذ أبداً ، ان وضعت افكار لوران ، لحظة حاسمة في تاريخ الكيمياء وفي تاريخ فكرة الهيكلية بشكل خاص ، فهي قربت باصالة عميقة نوعين من الملاحظات يبدوان بدون روابط بينهما : ظاهرات إيزومورفيسم [التشابه في الشكل والتفاعل] ميتشرليك وتفاعلات الاستبدال .

وفي ما يخص الاولى ، رأينا انه ، حوالي سنة 1820 ، اكتشف ميتشرليك Mitscherlich ان الفوسفاتات والزرنيخات حتى في نفس المعدن تمتلك نفس الشكل البلوري . وقد وسع ملاحظاته فاشملها املاحاً معدنية اخرى ، لكي ينتهي أخيراً الى هذا الاستنتاج ذي الاهمية النظرية البالغة : ان نفس العدد من الذرات الأولية الممتزجة بنفس الكيفية تولد نفس الشكل البلوري . ان هذا الشكل مستقل عن الطبيعة الكيميائية في الذرات ، انه يتحدد فقط بعددها وترتيبها . ان قوانين الإيزومورفيسم ترتد اجمالاً الى التأكيد بأنه يمكن ، عن طريق الفكر ، وفي الفوسفات ، استبدال الفوسفور مثلاً بالزرنيخ ، دون ان يتغير البناء الجزيئي في الزرنيخات الناتج عن الاستبدال . وتجاوز لوران الاعتبارات الكهركيميائية - فأكد ان الأمر يحصل تماماً مع الكلور ومع الهيدروجين في المركبات العضوية . وقد استعارت نظريته حول النوى ، والتي صاغها سنة 1836 تقريباً ، تصوراته السأخونة من الكريستالوغرافيا .

ان نواة لوران ، جذره الاساسي ، هي بالإجمال الهيكل الكربوني الذي تكلم عنه الكيميائيون

المعاصرون : وبفضل عناية دوماس الذي اكتشف الاسيد تريكلوراستيك اصبح الجذر الأساسي لدى تلميذه القديم هو النموذج . يقول دوماس : « في الكيمياء العضوية يوجد بعض نماذج تبقى حتى لو احللتنا محل الهيدروجين الذي تحتويه هذه النماذج احكاماً مساوية من الكلور والكروم واليود » .

في هذه المعركة من أجل كيمياء جديدة اعتمد فريق السلاح بالنسبة الى لوران وهو جيرهارت Gerhardt نكتيكاً مختلفاً تماماً . ان انتقاده لعدم تماسك الثنائية هو انتقاد جذري :

يقول : « اليوم عندما يلاحظ كيميائي تفاعلاً أو يحلل جسماً جديداً ، فإن عنايته الاولى تنصب على تخيل نظرية صغيرة تفسر الظاهرات سنداً للمبادئ الكهركيميائية ، وهناك اسلوب عندئذ من أجل اقتراح نوع من الجذر الافتراضي من أجل التمكن من تطبيق هذه المبادئ على الجسم الجديد ، ولم يكن العلم في يوم من الأيام لعبة الخيال كما هو الآن بفعل ادخال هذه الكائنات الوهمية . . . » .

ولكن في مواجهة هذه الفوضى التي لا حد لها والتي يفضحها جيرهارت لا يوجد إلا حل وحيد : الرجوع الى الشيء الايجابي الوحيد اي إلى علاقات التركيب التي يقدمها التحليل الاولي والتي ترجعها الصيغة الخام للمركبات . وكان هدفه « بلوغ القوانين العامة المستقلة عن كل نظرية حول الاستعداد المسبق لدى الجزيئات » ، بحسب تعبيره . ان الكيمياء التي يقترحها يراد لها ان تكون توحيدية بالمعنى المزدوج للكلمة : فهو يرد من جهة إلى المادة - باقتصاره على صيغتها الخام - وحدتها التي نزعها منها بصورة تسيفية ، الثنائيات ، ولكنه ، فضلاً عن ذلك ، يرد كل الخلايا العضوية في الحالة الغازية الى نفس الوحدة في الحجم ، الوحدة التي يشغلها وزن معين من الهيدروجين . هذا المسعى الذي هو من شأن مصنف مبدع ضمن مسار الوضعية المعاصرة ، مما يعطي للكيمياء عافية جديدة .

الأنماط بحسب جيرهارت : - وبعد ذلك سوف تتوضح الأمور بشكل واسع إن الجهود التصنيفية التي بذلها جيرهارت اثبتت وجود سلاسل متشابهة متناظرة . وهذه الفكرة لم تكن جديدة بالتأكيد : فقد تكلم عنها دوماس بشكل خاص وبصورة اجمالية . وضع لها مصوراً وكذلك الحال بالنسبة الى نظريته حول الأنماط . وفي ذهن لوران ودوماس ، يعتبر النمط نوعاً من الدعامة المادية للتحويلات الكيميائية ، دعامة تبقى رغم الاستبدالات في التحويلات . واعتمد جيرهارت هذا المفهوم ، ولكنه أجرى ما يمكن تسميته الانتقال الى الحد الاقصى .

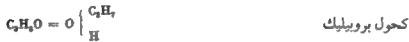
كتب : « في الحالة الراهنة من العلم (1853) ، يمكن رد كل المركبات العضوية الى أربعة أنماط هي الهيدروجين ، والاسيدكلوريديك ، والماء والأمونياك :



انطلاقاً من هذه الأنماط التي اصبحت في ذهن جيرهارت مكونات مختصرة ، من الممكن عن طريق الاستبدال استخراج الكحول والاسيدات والأمينات ، الخ .

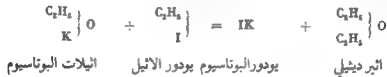
وعلى هذا مثلاً وانطلاقاً من « النمط ماء » الذي يستبدل احد عناصره الهيدروجينية بجذر

هيدروكربوني ، يصبح من السهل تصنيف السلسلة المشابهة من الكحول وفقاً للشكل التالي :



اذ هذه هي الكلمة القديمة الجذر ، المحببة لدى الثنائين ، تعود للظهور . وقد فقدت تماماً معناها الأساسي . ان الجذر او البقية عند جبرها ، هي مجموعة من العناصر يمكن نقلها من جسم الى آخر تحت مفعول تفكك مزدوج .

نأخذ مثلاً لتوضيح فكرته ، ان الأمر هو التفاعل الذي اثبت به الانكليزي وليامسون Williamson (المدين كثيراً في افكاره الى جبرها) التركيب الحقيقي للأثير .

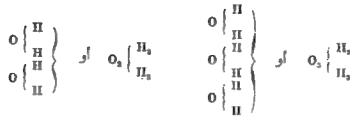


ان الجذر اثيل ، كما نرى ، يتوافق تماماً مع التعريف : لقد انتقل من يودور الاثيل (المنتمي الى النمط أسيد كلوريدريك) الى إثيلات البوتاسيوم (المنتمي الى النمط ماء) .

ان الصيغ النمطية ، كانت تهدف الى ترجمة سلوك الاحسام اثناء التفاعلات ، فينتج عن ذلك ان مركباً وحيداً بذاته يمكن ان يمتلك عدة صيغ جذرية (ان الألدريد بنزويك العنصر المعروف منا حالياً ، بحسب التفاعلات التي نحضعه لها يمكن ان يعتبر اما مثل الهيدرو بنزولي (المشتق من النمط هيدروجين) او مثل اوكسيد الجذر C_6H_5 ، المشتق من نمط ماء) .

ولكن اذا كانت نظرية الانماط تشتمل على عدد كبير من المركبات ، فقد كانت في الواقع اعجز من ان تحتويها جميعاً وتصنفها . وقد كان مثلاً من المستحيل بشكل حاص رد جزئيء البولي أسيد مثل اسيد سولفوريك ، أو الأجسام ذات الوظائف الكحولية المتعددة مثل الغليسرين إلى جريء ماء واحد . ودخل وليمنس الذي لعب دوراً حاسماً في ابتكار نمط الماء ، في مجال العلم مفهوم النمط المكثف .

ويكتابة النمط الماء بالشكل «dimère» أو المثلث «Trimère» كما نقول اليوم :



واقترح وليامسون ترميزاً سمح له بأن يكتب :



ولكن نظريات جيرهارت ، مهما كانت أهميتها في تطوير فكرة البنية ، تبقى غريبة تماماً عن الحالة الفكرية التي تفرضها هذه البنية . قال موضحاً : « ان أنماطي تعني شيئاً آخر تماماً غير أنماط م . دوماس ، فهذه الأنماط تعود الى الترتيب المقترض للذرات في الأجسام ، ترتيباً يعتبر ، برأبي خارج نطاق التجربة » .

وكان هذا الرأي مشاعاً لدى غالبية الكيميائيين الذين اعتمدوا النظرية الجديدة .

مفهوم التكافؤ Notion de Valence : - ان العبارات النموذجية تقتضي ان تمتلك العناصر ، كما الجدور قيمة استبدالية أو اختلاطية محددة . من هذه الرؤية كان من المقبول ان يكون للأوكسجين وللكبريت قيمة أكبر ، بمرتين ، من الهيدروجين والكلور والأزوت ، وقيمة ثلاثة أضعاف بالنسبة الى السيليوم وأربعة أضعاف بالنسبة الى الكربون . ومن المقترض بعد ذلك ان غميز ، كما فعلنا بالنسبة الى الجدور ، بين العناصر الوحيدة والاثنيتية والثلاثية والرابعة

هذه الأفكار الجديدة التي سبق رسمها من قبل ادوار فرانكلاند Frankland سنة 1852 - عندما قال بأن قوة الاختلاط في العنصر الجاذب هي دائماً مستكفية بنفس العدد من الذرات - سوف يكون لها تأثيرات مباشرة في مجال الكيمياء العضوية .

وبالاعلان ، من جهة ، عن رباعية تكافؤ الكربون ، وبالإشارة ، من جهة أخرى الى خاصية هذا العنصر من حيث قدرته على الامتزاج بذاته ، أي يقول آخر على تكوين سلاسل مركبة ، فتح ارشيبالد كوبر Archibald Couper واوغوست كيكولي Kekulé امام الكيمياء ابعاداً لم تستطع نظرية الأنماط غير لحما من بعيد .

ولا شيء أكثر اختلافاً من مصير هذين الرجلين اللذين ، بفارق عدة اشهر ، قدما ، كلا على حدة حل مسألة اصطدم بها جيل من الكيميائيين . ولد كوبر سنة 1831 قرب غلاسكو . وبعد دراسات انتقائية قلده ميل مفاجيء الى الكيمياء ليدخل في مختبر ورتز في باريس حيث امضى حياته العملية القصيرة . وفي سنة 1858 اصبح مجنوناً ولم يعد المجتمع العلمي يسمح عن البائس كوبر الذي

مات سنة 1892. اما كيكولي ، الذي ولد في درمستاد سنة 1829 ، فكان يجب ان يقول انه تعلمذ نابعاً على ليبيغ ودوماس وجيرهارت ووليامسون ، وانه لا ينتمي الى أية مدرسة ، وعين استاذاً في غاند سنة 1858 ، وفي بلجيكا كانت الحقبة الأكثر تألقاً والأكثر خصباً في عمله . وفي سنة 1867 عاد الى ألمانيا الى بون . ومات سنة 1896 . والمذكورة التي وضعها كيكولي ، والتي تضمنت بوضوح رباعية تكافؤ الكربون ، وبشكل أكثر غموضاً ، خصوصية ما يمتلكه هذا المنصر من قدرة على التعلق بذاته ظهرت سنة 1858 ، اي قبل مضي شهرين على مذكرة كوبر التي عرفت بأفكار مماثلة . وكانت خيبة امل كوبر كبيرة حتى ان البعض رأى فيها اصل مرضه العقلي الذي حد نهائياً من حياته العلمية .

كتب ورتز Wurtz يقول : على العموم ، اني اجد صيغ م . كوبر ، تحكيمية جداً ، وبعبارة جداً عن التجربة ، وبصيفنا الجذرية ، نحن لا نزعج اننا نقدم التكوين الذاتي العميق للخللاط ، ان هذه الصيغ لا تمثل الا التحولات ، اي وقائع تحت تناول التجربة ومثبتة بها . هذه هي حسنتها . وفي صيغ م . كوبر العكس هو الحاصل ، ان موقع كل ذرة ملحوظ ، ليس فقط بالقدرة الركيكية أو البازية للعناصر بل أيضاً بما لا اعرفه من جذب كهربائي أو قطبي ، هناك فرضيات كثيرة ، ونخطئ إذا مثلنا كل هذه الأشياء وكأنها الشريعة والأنبياء . وهذا الشأن يقول م . كيكولي Kikulé الذي بدا لي انه فهم بصورة افضل معنى ومدلول الأفكار التي أعلنها هو في الأول في آخر مذكرته : « فيما خصني لا اعلى الا أهمية ثانوية على اعتبارات من هذا النوع » . ذلك انه كان يقال يومئذ بهذا الشأن ، ان اكتشاف اربعة الكربون أو تكافئه الرباعي النووي لا يمكنه ان يرسم لسوحده مفهوم البنية . ان أنماط جيرهارت Gerhardt تعبر بشكل بسيط نسبياً وأوضح عن درجات التعقيد الجزئي . وهي درجات تنتجها ذرات التكافؤات المتنوعة . ان الأنماط الأربعة الأساسية تترجم حسب كفيته ، وحدة التكافؤ في الهيدروجين والهالوجينيات ، وثنائية التكافؤ في الأوكسجين ، وثلاثيته في الأزوت . ان التعقيد التحكيمي في الأنماط المكتشفة يأتي من جراء عدم تفكيرنا ، حتى ذلك الوقت ، بنمط الميثان . ولكن اكتشافاً ما مهماً كان مهماً ، لا يشكل ثورة . ان فكرة التكافؤ - وفكرة رباعية الكربون بشكل خاص - لم تحدث الاتصال مباشرة ، اذا امكن القول ، مع فكرة البنية ، كما رأيناها ترسم بصورة تدريجية . ومع ذلك لقد تحقق تقدم ضخم . ومهما كانت خلفياتهم الفكرية الفلسفية ، لم يعد بإمكان الكيميائيين ان يظلوا غير آبهين بالشكل الذي يربط بين الذرات الأولية ، بشكل كيميائي فيما بينها ، في الأجسام المركبة . ان هذه الذرات ، تحمل رغباً عنها ، وفي معظمها نحو معرفة ترتيب الذرات الذي حلم به لوران . وما يسميه كيكولي التكوين ، وهيرمان كولبي ، نقاط هجوم التعاطف وبوتليروف Boutlerov البنية ، هو قبل كل شيء ترتيب الارتباطات .

كان الكسندر بوتليروف (1828 - 1886) ، في بادئ الأمر استاذاً في كازان ، ثم بعد 1868 في سان بترسبورغ . وكان الأول في الذين ساروا بالفكرة الى نهايتها . فاذا كانت البنية تمثل ، في مركب ما معين ، ترتيب الارتباطات بين الذرات التي تؤلف هذا المركب ، وإذا كانت رمزية الصيغ تترجم تماماً هذا الترتيب ، « يقول بوتليروف ليس لنا الحق ، في القول مع كيكولي ، بان الجسم يمكن ان تكون له عدة صيغ جذرية ، وانه ليس من لزوم للأنماط التي لا تضيف شيئاً الى فهم الصيغ » .

ان التطبيق الدقيق لهذه المفاهيم الجديدة سوف يتيح لبوتليروف ان يكتشف الكحول الثلاثية ، وبالتالي ان يشرح ، وان يتنبأ بالعديد من حالات الإيزوميرية (isomérie) أو التماكب في تركيب الهياكل المتحجرة (هيدروكربونيك) التي تمتلك نفس عدد ذرات الكربون .

وقد يوجد ، في هذا الشأن ، خلط ، وان كان لها نفس التركيب القياسي بالاستمرار ، فهي ذات خصائص كيميائية مختلفة جداً ، هذه الخلط تسمى عماكيات أو متشابهة نووية (Isomères) .

ومنذ بداية القرن التاسع عشر اشير الى امثلة عن هذه الظاهرة المفيدة فقد وصف دالتون ذاته ، ثم فرادي كربور الهيدروجين باصنافه المتنوعة ، رغم تركيباته المتشابهة ظاهرياً . ولكن ، الى ان تحسنت الطرق التحليلية بشكل كافٍ ، ظل الشك قائماً حول صحة هذه النتائج . ولكن حوالي سنة 1830 ، كان من المسلم به ان الأسيد فوليسيك والسيانك من جهة ، والأسيدات تارتريك وراسيميك من جهة اخرى ، تتجاوب تماماً مع نفس التحليل . وانتهى بربريليوس ، الذي ظل لمدة طويلة يمارض اعطاء ذات التركيب لأجسام تمتلك خصائص مختلفة ، انتهى بالافتناع بحقيقة الظاهرة وكرس وجودها باعطائها الاسم الذي بقي لها : « التماكب » (Isomérie) .

وسوف يتيح تطور مفهوم البنية انطلاقاً من سنة 1860 تفسير هذه الملاحظات القديمة . منذ 1823 شعر شفرول Chevreul بالحل لمسألة الأيزوميرات ، كتب يقول : « ان وقتنا عند حدود التجربة لا نرى كيفية اخرى في تصور هذه الحالة الا باللجوء الى ترتيبات متنوعة للذرات او للجزيئات » .

مفهوم الكربون اللاتناظري (الأسيمتري) : رأينا انه بفضل بوتليروف Boutlerov خاصة ، يعطي التطبيق المباشر لتصورات البنية ، صورة عن الامكانيات المتعددة في مجال ترتيب السلاسل الكربونية التي تمتلك نفس العدد من الذرات . ويبقى اعمال او ادخال الموقع في فضاء مختلف البدائل عن ذات الكربون ، لتفسير وجود الأيزوميريا (التماكب) البصرية التي تعبر عن خاصية بعض الإيزوميرات لأنها تُحَوَّرُ الى اليمين أو الى اليسار ، الضوء المستقطب .

ويتعلق الأمر اجمالاً في ترجمة - بعبارة البنية ، اي على صعيد الذرات - الملاحظات المدعة التي قدمها لويس باستور حول عدم التناظر التحجري ، بمناسبة الأسيدات الترتية (راجع بهذا الشأن دراسة ج . أورسيل الفصل 1 من القسم 4) .

يقول : « نحن نعلم أن إعادة الترتيب الجزيئي في نوعين من الأسيد الترتي tartrique ، هي غير متناظرة ، هذا من جهة ، ومن جهة اخرى ان إعادة ترتيب هذه هي ذاتها تماماً ، مع فارق وحيد انها تقدم حالات عدم تناظر ذات اتجاهات متضادة . هل ان ذرات الأسيد اليمنى تتجمع وفقاً لدورات مروحة يمينية الالتفاف إذا وضعت في أعلى تزايد (رباعي ، أوجه) غير منتظم ، أو إذا رتبت بحسب هذا النوع من التجميع المتعارض المحدد ؟

نحن لا نستطيع الرد على هذه الاسئلة . ولكن الشيء الذي لا يمكن ان يكون موضوع شك هو - بوجود جميع للذرات وفقاً لترتيب غير تناظري ذي صورة غير قابلة للتركيب . والشيء الذي لا يقل تأكيداً عن الأول ، هو ان ذرات الأسيد اليساري تحقق تماماً المجموعة المتعارضة الترتيب المعاكسة لهذا التجمع » .

بين الدعامات المحتملة في تعارض جزئي، ذكر بامستور التراييدر غير المتظم، ولكن الكربون الرباعي التكافؤ يمكن ان يصور بشكل تراييدر. يكفي افتراض ان العناصر الأربعة أو الجذور التي يندمج فيها الكربون تقع عند ذروات التراييدر الأربع، حيث يكون الكربون في موقع المركز. وإذا كانت هذه البدائل الأربعة مختلفة، فان هذا الجسم الخيالي قد ينوجد بشكلين غير قابلين للتراكم احدهما هو صورة للآخر في مرآة. هذا التطور الجديد في مفهوم البنية كان من صنع جوزيف أشيل ليل J.A. Le Bel (1847-1930) وجاكوبوس هنريكوس فانت هوف Van't Hoff (1852-1911) اللذين، أوجدا على التوالي، سنة 1874 مفهوم الكربون اللاتناظري. إن وجد كربون لا تناظري في خلية ما يجر وراءه الأيزوميريا البصرية.

: بنية المركبات العطرية - صيغة البنزين : ان نظرية البنية بشكلها الاساسي تطبق على كيمياء مركبات السلسلة الشحمية اي المركبات المتعلقة بصورة مباشرة نوعاً ما بالاسيدات الشحمية. ومواد السلسلة العطرية التي يعتبر البنزين غطها الأول، تطرح مشاكل خاصة لم تعالج حقا إلا بعد عدة سنوات. كتب كيكولي بهذا الشأن يقول «اد المواد العطرية، حتى الأيسط منها هي دائماً اغنى نسبياً بالكربون من الكربونات الدهنية الأخرى، اد يوجد في المجموعة العطرية مواد مشابهة، أي اجسام تختلف فيما بينها بالرمز $n \text{ CH}_2$ ، ان الأجسام الأكثر بساطة المنتمية إلى المجموعة العطرية تحتوي ست ذرات من الكربون على الأقل. فضلاً عن ذلك، وتحت تأثير العوامل القوية، يحصل تحريف دائم، حتى بالمواد المعقدة نسبياً، تحريف مواد لا تحتوي إلا على ست ذرات من الكربون (بنزين، كحول فنيكية، أسيد بيكرينك، أسيد اوكسيفينيك، أنيلين، كينون، كلورانييل الخ)».

ان مجمل هذه الوقائع يجب ان يؤدي بالتأكيد إلى افتراض وجود مجموعة مشتركة في المواد العطرية، نوع من النواة المكونة من ست ذرات من الكربون . . .

وإذا يتوجب قبل كل شيء التثبت من تركيب هذه النواة. والفرضية الأيسط التي يمكن اجرائها في هذا الصدد هي التالية - وهذه الفرضية تنبثق بشكل طبيعي من مفهوم الذرية الرباعية في الكربون، بحيث تنفي ضرورة التركيز عليها بشكل اطول - :

« عندما تمتزج عدة ذرات من الكربون فيما بينها، يمكن ان تجتمع بشكل يمكن كل تألف في كل ذرة من ان يكفي دائماً بتألف من الذرة المجاورة. هكذا فرست التماثل، ويوجه عام تشكل المواد الدهنية ».

« ولكن يمكن الافتراض كذلك ان عدة ذرات من الكربون تجتمع وتندمج تبعاً بفعل تألف أو عدة تألفات. وإذا كان الأسلوب الأول يفسر تركيب المواد الشحمية، فالأسلوب الثاني يوضح تشكل المواد العطرية أو على الأقل تشكل النواة المشتركة فيما بينها جميعاً ».

وبالفعل إذا اندمجت ست ذرات من الكربون فيما بينها وفقاً لهذه القاعدة التناظرية فهي تعطي مجموعة تعتبر كسلسلة مفتوحة لها ثمانية تألفات غير مشبعة. وبالعكس إذا افترضنا ان اللذين اللتين

نتيجان هذه السلسلة ، تندرجان فيما بينها ، نحصل على سلسلة مغلقة لها أيضاً ست تآلفات غير مشبعة » (Bulletin de la Société chim . de France 1865) .

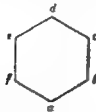
وهكذا لم يقدم كيكولي حتى ذلك الحين سدسه المشهور . وظهر هذا الأخير لأول مرة سنة 1866 . يقول : « بما ان الذرات الست في كربون البنزين مرتبطة فيما بينها بشكل تناظري كامل فهي تشكل دورة كاملة التناظر . ويمكن اذاً تمثيل البنزين بشكل سدس عند كل ذروة من ذراه يوجد هيدروجين (الصورة رقم 11) . ويمكن كذلك تصور انه بالنسبة الى المشتقات التي تولد بفعل الاستبدال المتتابع تصبح التغييرات الايزوميرية التالية ممكنة مثلاً بالنسبة الى مستحدثات الاستبدال البرومية [نسبة الى معدن البروم] يحصل لدينا : 1 - برومو بنزين وحيد : تغيير واحد . 2 - برومو بنزين ثنائي : ثلاثة تغييرات (ab) (ac) (ad) ، 3 - برومو بنزين ثلاثي : ثلاثة تغييرات (abc) (abd) (abcd) . 4 - برومو بنزين رباعي : ثلاثة تغييرات (كما في 2) ، 5 - برومو بنزين خماسي : تغيير واحد . 6 - برومو بنزين سداسي : تغيير واحد » .

هذا ليس الامثلاً . وقد تنبأ كيكولي ، خلال هذه المذكرة بالذات بعدد المشتقات البنزينية الايزوميرية في حال وجود استبدالين متنوعين في النواة . وفي السنة التالية طرح احد تلاميذه ، وهو كورنر Körner تسمية الايزوميرات الملامستبة بكلمة اورتو ortho (ab) ، ميتا (ac) (méta) ، وبارا (ad) (Para) ، وبقيت هذه التسميات كلاسيكية .

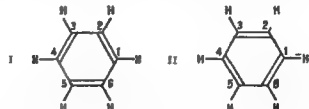
ومنذ البداية ، كما رأينا ، افترض كيكولي انه في نواة البنزين يوجد بين الذرات الكربونية الست تناوب بين الارتباطات البسيطة والارتباطات المزدوجة بحيث تكفي قاعدة التكافؤ الرباعي . وهذا يعني ان للسدس الكيكولي فعلاً الصيغة الممتثلة بالصورة رقم 12 - I .

وكان لادنبرغ Ladenburg أول من لاحظ ، ضمن هذه الفرضية ، ان الارتباطين 1 - 2 ، 6 - 1 ليسا متماثلين . وهناك عدد من الصيغ المتناظرة ، قدمت يومئذ ، وكانت تنفادى هذه الصعوبة الظاهرة .

وأجاب كيكولي على هذا الاعتراض فيما خصه انه بالنسبة اليه ، تتبع حركة مستمرة في الذرات الافتراض بانه ، في الزمن ، يحتمل وجود صيغة تتوافق مع تنقل مواقع الارتباطات . خاصة وان الصيغة السابقة (الصورة 12 - I) لم تكن قابلة التمييز عن صيغة شبيهة بصيغة الصورة رقم 12 - II . وبعد ذلك بعدة سنوات طرح ارلنماير Erlenmeyer ثم غريب Graebe صيغة للنفثالين تعمم افكار كيكولي لتشمل النوى الأخرى العطرية



صورة 11 - سدس Kekulé .



صورة 12 - شكلان متساويان للبنزين بحسب Kekulé

التركيب في الكيمياء العضوية : - لا تمكن معالجة مسألة تركيب المركبات العضوية - ونقصد بذلك ، في البداية على الأقل ، المواد التي تقدمها الكائنات الحية - معالجة مثمرة من قبل كيميائي ما يزال يجهل الصيغ المتطورة او المشتبه بجمعها العميق .

ان النجاحات التي حققت في هذا المجال قبل 1860 ، قد اقتضت بالضرورة على اجسام ذات اوزان نواتية حقيقية (تركيب الاسيد فورميك (1856) والميثان (1858) والاسيتيلين (1860) ، الخ من قبل برتيولوت (Berthelot) ، أو إنها ذات سمة عارضة نوعاً ما (تركيب الاسيد أوكزاليك (1824) ، والبولية (1828) من قبل أوهرلر (Wöhler) .

ان نظرية الأنماط ، بمقدار احتوائها على جزء من الحقيقة ، تستطيع مع ذلك المساعدة على تكوين أكثر وعياً للجزئيات العضوية : فهي تجعل من الممكن ، بشكل خاص ، التحكم المنتظم « بالحدود » هذه التجميعات من الذرات التي لم يتم احد حتى يومها بمعرفة طبيعتها الذاتية - (تركيب الهيدوكربورات من قبل فرانكلاند (Frankland (1850) ومن قبل ورتز (Wurtz ، ثم الامينات (1850) من قبل هوفمان (A.W. Hoffmann ، الخ) .

ولم يكن الأمر كذلك عندما حصلت نظرية بنية المركبات الدهنية والعطرية على تكافئها . فهذه ، من جراء التنبئ الصناعي لها ، اصبحت بسرعة آلة حقة في الانتاج . وبصورة خاصة صناعة المواد الملونة ، المقصورة حتى ذلك الحين على استخراج المصنوعات الطبيعية أو المرتكزة على تحويلات تجريبية (كما كان الحال ، من بين امثلة اخرى ، في تحضير الموفين من قبل بركين (Perkin في سنة 1856 ، او تحضير الفوشين من قبل فرغوين (Verguin سنة 1859 واستطاعت الصناعة المذكورة ان تستلحق وأن تعطي قيمة لمشتقات قار الفحم الحجري بفضل سلسلة من التفاعلات اتبع بها مسلك عقلائي ، ان اعاد الانتاج في المختبر ، ثم على المستوى الصناعي لمادة آلبرازين (غريب (Graebe ، 1868) ، ثم استحضر النيل (باير (Baeyer ، 1880) من بين آلاف المركبات الاخرى الجديدة ابرز نجاح هذه الكيمياء التركيبية التي كان برتيولوت Berthelot زعيمها الفلسفي ، مع رفضه قبول قيمة الآلة العقلية الوحيدة التي كانت تتيج حقاً التحكم بها .

IV - الكيمياء في علاقاتها مع العلوم القريبة

1 - الكيمياء والفيزياء

الحركية الكيميائية - ان دراسة الظواهر الكيميائية المتغيرة مع الزمن ، ودراسة القوانين التي تحكمها هي بالتأكيد أقل مباشرة من الدراسة التي تفترض وجود توازن مستقر . هذه الديناميكية الكيميائية قد اثارت مع ذلك ، وباكراً جداً ، فضول بعض السابقين . وفي أواخر القرن الثامن عشر اهتم ونسل Wensel مثلاً بقياس سرعات المعادن المتنوعة . ولكن توجب انتظار اعمال ويلهلم (Wilhelm) (1850) حتى تركزت اسس كيمياء حركية حقة .

فقد ين ج . ب . بيوت (J . B . Biot ، حوالي 1835 ، ان انحرافات الضوء المستقطب ، المقروعة في مقياس الاستقطاب يمكن ان تستخدم في قياس تركيزات محلول السكر . وقد اكتشف ، مع

برسوز Persoz انه بالامكان متابعة تحول خاص في سكر القصب . وكذلك الحصول على عكسه inversion، دون اللجوء إلى طرق تحليلية معقدة، إنما، ببساطة، بمراقبة بشكل مستمر تغيرات القدرة الدورانية في محلول سكر سيق تخميضه . واهتدى ويلهلمى (Wilhelmy)، متمسكاً بأن يصوغ كمياً مسار هذه التحولات ، الى افتراض - انه بالنسبة الى درجة حرارة معينة ، تكون سرعة التحول متناسبة مع تركيز السكر الذي بقي غير ممسوس ، اي بعبارة اخرى ، ان الكمية المحولة بخلاف وحدة الزمن تناسب مع كمية المادة التي لم تتحول بعد ، وكان هذا القانون ، الذي أعطي صيغة رياضية مناسبة ، ذا تطبيق عام . فقد كان ويلهلمى Wilhelmy صاحب الفضل في اللجوء الى تفاعل بطيء نسبياً ، وهذا هو حال أغلب تفاعلات المستحضرات العضوية فيما بينها ، بعكس ما هو حاصل في الكيمياء المعدنية ، حيث تكون التفاعلات في أغلب الأحيان آتية .

ومع ذلك تعتبر حركية تحول السكر بسيطة نسبياً : ويختلف الأمر بالنسبة الى تفاعلية تكون الأملاح الاثيرية ، التي درست سنة 1862 من قبل برتيلوت Berthelot وبسان سان جيل Péan de Sant - Gilles . فالأسيد والكحول يندججان ليعطيا الاستر ester (اي الملح والأثير) والماء ، ولكن التفاعل يتوقف تلقائياً قبل ان تدخل كل الكحول وكل الأسيد في عملية التفاعل .

اننا نجد انفسنا أمام توازن . ويمكن ان نبين ، في هذا الشأن ان الاستر ، مع وجود الماء يولد تحولاً معاكساً للتحول السابق ، فيعيد انتاج الأسيد والكحول المولدين .

ومن بين العلماء الذين حولوا هذه النتائج التجريبية الى عبارات نظرية ، يجب بشكل خاص ذكر النرويجيين كاتوم . غولدبرغ Cato . M . Guldberg (1836 - 1902) وبيتر واج Peter Waage (1833 - 1900) اللذين اوجدا قانون عمل الكتلة (1867) من جهة ، ثم الهولندي فانث هوف Van't Hoff من جهة أخرى وبفضل هؤلاء تحقق الطموح المسبق الذي راود برتوليت Berthollet ، منذ 1803 ، في كتابه الكيمياء الستانية ، في جزء كبير منه .

الكيمياء الحرارية والطاقوية - في مجال مجاور وجدت الميزياء والجهاز الرياضي الذي اقترن بها نقطة التقاء أخرى مع الكيمياء . فقد قام جوليوس طومسن Julius Thomsen (1826 - 1909) ثم برتيلوت Berthelot باعلان وتطوير مبادئ الكيمياء الحرارية ، ان هذا التعميم لعلم الحرارة ، وللحرارة الديناميكية بحيث يشمل التفاعلات الكيميائية كانت له أهمية كبيرة . فقد تطابق ، في أغلب الأحيان في ذهن رواده مع موقف مغاير للذرية ، وذلك بمقدار ما تتعلق الطاقوية بوصف وبتقنين شروط التغيرات في مادة رُفِض ان يُبنى عليها أية فرضية مهما كانت . وحرص الكيميائيون على حل هذه المسألة : كيف يمكن لمركب كيميائي ذي بنية معينة ان يتفاعل وما هي المستحضرات الناتجة عن تحولاته ؟ ان المدرسة الجديدة طرحت مشكلة مختلفة : ما هي الشروط (العلاقة بين كتلة الفاعلات مثل الحرارة والضغط) التي يكون فيها التفاعل ممكناً ؟ والرأي كما نرى يختلف بشكل اساسي .

ان مبدأ الحالة الأخيرة وحالة المنطلق ، والمبدأ (المشكوك به تماماً) وهو مبدأ العمل الأقصى الذي يقضي بأن كل تفاعل عفوي يحدث بالضرورة إذا اعطي الحرارة (برتيلوت) ، واعمال ج ويلارد جيبس J . Willard Gibbs المتعلقة بنظرية التوازن الكيميائي (قانون المراحل) يدلان على

النتائج الرئيسية الحاصلة في هذا المجال الواقع بين علمين .

ظواهر المساعدة (الكاتاليز) : - الى هذه المسائل يجدر ربط دراسة ظاهرة ذات أثر كبير ، سواء من الناحية العملية أم من الناحية النظرية : تلك هي ظاهرة (الكاتاليز) أو المساعدة . من المعلوم منذ زمن بعيد ان بعض التفاعلات لا يمكن ان تحدث الا بوجود أجسام لا يبدو انها تشارك بصورة مباشرة في العملية الكيميائية اذ نجدها كما هي في نهاية العملية . هذه الأجسام المساعدة قد تكون ذات طبيعة وذات منشأ مختلفين : فالأسيد الكلوري ضروري لقلب السكر الذي تكلمنا عنه ، والبلاتين المقسم بدقة يتيح اشتعال الغاز المدوي بشكل غير تفجيري (دافي Davy) ؛ والحماثر تنتمي الى هذه الفئة من المواد . من وجهة نظر نهما هنا لا يعمل المساعد الا على تسريع التفاعلات بشدة ، هذه التفاعلات التي تبدو ممكنة من ناحية الطاقة ولكنها تتم ببطء لا حدود له أحيانا .

هذه الظواهر حول المساعدة الكيميائية تعمل في مجال الكيمياء الصناعية دوراً من الدرجة الأولى : فهي في أساس اسلوب صنع الأسيد الكبريتي باللامسة ، أو اسلوب صنع الحامض النيتري بواسطة اكسدة الأمونياك الذي اكتشف مبداه من قبل كوهلمان Kuhlmann منذ سنة 1839 .

قوانين التحليل الكهربائي (الالكتروليز) . رأينا في السابق الدور التاريخي الحاسم الذي لعبته دراسة الظواهر التحليلية الكهربائية . ان الأثر المحدث بواسطة مرور التيارات من البطاريات قد سمح لـ دافي Davy ان يعزل العناصر القلوية . وعمم برزيليوس نتائج هذه التجارب فاكتشف صياغة نظريته في الثنائية الكهركيميائية .

وقام فرادي Faraday تلميذ دافي Davy وقد اشتهر باكتشافاته المهمة ، بما يفتح للكيمياء والفيزياء اتصالاً آخر .

وبادخال الطرق الكمية الدقيقة في دراسة التفكيكات الكيميائية المحدثه بفعل التحليل الكهربائي ، توصل الى قوانين رائعة : اول قانون يعلمنا ، انه في جميع الأحوال ، تساوي كتلة الجسم المتفكك مع كمية الكهرباء التي مرت بالحلقة مهما كان الجسم المحلل المستعمل . والقانون الثاني ان كتل مختلف الأجسام المحررة في مختلف الخلاط الكيميائية ، بفعل مرور كميات من الكهرباء متساوية ، تتناسب مع ما يعادل هذه الأجسام أو مع الأجزاء البسيطة من هذه المتعادلات . وهذا القانون الأخير الذي وضعه فرادي ، يؤدي ، كما نرى ، الى نظام من الأعداد النسبية . ولم يكن هذا النظام نظام الأوزان الذرية . ولم يكن هذا التناقض الا ليثير المناقشات الحماسية في إطار النظريات التي درستها سابقاً . ولم يرفع هذا التناقض الا ببعض الاكتشافات التي سبق وتكلمنا عنها ، وكذلك باكتشافات أخرى سوف نشير اليها .

الخصائص الفيزيائية للمحاليل : - من المعروف ان دراسة الخصائص الفيزيائية للمحاليل قد اتاحت لـ راوولت F. M. Raoult ان يصوغ بين سنة 1878 و 1890 سلسلة من القوانين الرئيسية (راجع بهذا الموضوع دراسة الـ G. Allard ، الفقرة V من الفصل السابق) .

وان نحن اهتمنا بشكل أخص بالمحاليل غير الملحية (التي لا تؤدي بشكل بارز الى الكهرباء)

نلاحظ انه بالنسبة الى مادة مذوية ، يتناسب ضغط البخار المبثوث من قبل المذيب ، مع التركيز ، وتغيرات نقاط الغليان والتجمد في المذيب تخضع لنفس القانون . وللتوصل الى نفس النتيجة ، يجب إن أخذنا هذه المرة أجساماً مختلفة في مذيب متماثل ، اختيار محلولات رخوة محتوية على وزن معين من كل مادة . ولكن هذه الأوزان ، إذا قورنت ببعضها البعض ، تنجح هي أيضاً وضع نظام من الأعداد النسبية يتناسب هذه المرة مع النظام المنبثق عن قانون الغازات .

هذه القوانين التي وضعها راوولت Raoult ، ليس لها صفة تجريبية عملية . وقد ابرز فانت هوف Van't Hoff سنة 1885 معانها النظري العميق مشدداً بالضغط ، على التماثل الموجود بين الجزئيات داخل المحلول السائل والجزئيات في الحالة الغازية . هذا التقارب ، أوحى إليه بشكل خاص ، بفضل بحوث علماء النبات حول عمليات الامتصاص (راجع بهذا الشأن دراسة لـ J . F . Leroy ، القسم 5 ، الكتاب 1 ، الفصل 5) .

لخص فانت هوف Van't Hoff الملاحظات المقدمة بفضل دراسة الامتصاص ضمن القانون التالي : كل مادة مذوية تحدث - في الحاجز الامتصاصي (نصف التسريبي) - ضغطاً امتصاصياً يساوي الضغط المستحدث ضمن نفس الحجم بفعل مادة غازية تتضمن نفس عدد الجزئيات . وهذا يعني - بالاستناد الى فرضية أفوغادرو Avogadro - انه في الحالة الغازية أو حالة الذوبان ، يحدث نفس العدد من الجزئيات مهما كان نوعها الموجودة في حيز ذي حجم واحد ، وفي نفس درجة الحرارة ، نفس الضغط على الأطراف التي تحتويها .

ارهينيوس Arrhenius وتفرق التحاليل الكهربائية : - ويبقى مع ذلك وجوب تفسير السبب في عدم انطباق قوانين فانت هوف Van't Hoff وراوولت Raoult على المحاليل الالكتروليتية . لماذا يتجمد محلول الملح البحري مثلاً ، في درجة حرارة أدنى من محلول السكر من ذات التركيز الجزئي ؟ . كل شيء يحدث في هذا الشأن كما لو كان الملح البحري قد تفكك جزئياً الى مكونين يشتان كل على انفراد ، قوانين راوولت Raoult ، ويقول آخر كما لو أن جزئيات الملح «كلورور السديوم» قد انشطرت الى ذرات السديوم أو الكلور ، بحيث لا يحتوي المحلول الملحوب من الملح الا ذرات من مكوناته ، في الحالة الحرة . وبعد تجاوز كره الكيميائيين القول بوجود مفترض للذرات السديوم في حال وجود الماء في حين يتفاعل المعدن في الماء بعنف اقصى (تجرأ سافانت ارهينيوس Svante Arrhenius (1859 - 1927) ، في سنة 1887 ، أن يأخذ هذه الفرضية بعين الاعتبار . فقال بأن ذرات السديوم والكلور المقدمة بفعل تفكك جزيء الملح تكون في وضع خاص : انها تشحن بالكهرباء وتشكل ايونات (هذه النظرية اثارها أيضاً بويور E.Bauer الفصل 4 من هذا القسم) . وبفضل هذه النظرية الجريئة الثبته سريعاً بفضل جملة احداث ، اصبح من الممكن فهم مجال تطبيق قانون راوولت بصورة أفضل ، لأن التفكك الى ايونات يختلف بشكل واسع بحسب طبيعة الملح المدروس . هذا التفكك يتصل مباشرة بقابلية التوصيل الكهربائي الذي يمكن ان يساعد على قياس هذا التفكك .

وهكذا وجد علم جديد هو الفيزياء الكيميائية ، على حدود الكيمياء بالذات فائتة النظرية الذرية . وبعد ذلك وقبله امكن الافتراض بانه عندما يتكلم الفيزيائيون والكيميائيون عن الذرات فان

الأمر يتعلق بنفس الواقع الموضوعي الذي يجده المجرّبون في نهاية المساعي التي كانت تبدو في الأصل بدون روابط مشتركة .

2 - الكيمياء وعلوم الحياة

منذ نشأة الحقبة العلمية قامت علاقات وثيقة بين الكيمياء وعلوم الحياة : ان استخراج ودراسة المستحضرات من النباتات والحيوانات هما اللذان اعطيا اسم الكيمياء العضوية . وبهذا الشأن افترض بعض علماء القرن الثامن عشر ، امام تعقيد هذه المواد العضوية ، ان الطبيعة وحدها قادرة على انتاجها ، وانه يستحيل على الكيميائيين ان يحلوا محل القوة الحيوية . هذه الحركة الحياتية ، التي علمها رجال امثال برسيلوس Bersihus وليبيغ Liebig الخ ، لم تقاوم - على الأقل بهذا الشكل المعتدي والمبسط - تطور المعرفة . فبعد 1828 حقق فردريك وهلر Friedrich Wöhler تركيب البولية (الاوردة) انطلاقاً من المادة المعدنية . وربما اننا ركزنا كثيراً على الاهمية الفلسفية لهذه المعتقدات الحياتية ، والواقع ، اذا كانت هذه المعتقدات قد وجدت بشكل غير منكور فانه من السهل ذكر عدد كبير من الكيميائيين الذين لم يقبلوها ، والذين كانت لهم حتى قبل تركيبة اوهرلر Wöhler ، حول هذه النقطة افكاراً عقلانية جداً .

ومهما يكن من امر ، وحتى لو لم ننظر الا الى النتائج النهائية للنشاط الكيميائي في الاجسام الحية ، فقد ثبت سريعاً ان هذه المواد النهائية لا تختلف في جوهرها عن المستحضرات التي ينتجها الانسان في المختبرات . ولكن هل ان التفاعلات الكيميائية الخاصة التي تلجأ إليها الحياة تخضع للقوانين العامة التي تفهمها نحن ونسيطر عليها ؟

بين لافوازييه Lavoisier ، اثنا بحوثه حول الاوكسجين ان التنفس هو اكسدة : وقد شبه الكائن الحي بمركب كيميائي حقيقي عندما كتب :

« عندما يكون الحيوان في حالة تمدد وراحة ، بحيث انه بعد عدة ساعات لا يعود للجهاز الحيواني بشعر بأي تغيير محسوس ، عندها يعزى حفظ الحرارة الحياتية ، في جزء كبير منه على الأقل ، الى الحرارة التي يمتدنها اختلاط الاوكسجين بالماخوذ بالتنفس ، بالقاعدة من الهواء الشاب (ويقصد هنا الكربون والمواد الكربونية) التي يقدمها الدم » .

ان الطاقة الفيزيولوجية تتولد اذاً من الاحتراقات البطيئة في المواد المسحوبة من الوسط الذي يعيش فيه الكائن الحي . وهذه المواد الغذائية بالذات يعضمها الجسم ، ثم بعد ان تكون قد لعبت دورها يخرجها بشكل بقايا . وهذه العمليات الحياتية في مجملها تدخل في نطاق الكيمياء ولا تخرج عن صلاحيتها .

وبخلال القرن التاسع عشر بينُ جان باتيست بوسنغولت Jean - Baptiste Boussingault (1802 - 1887) بصورة خاصة ان الأزوت يشكل أحد العناصر الأساسية في الاقتصاد الحيواني او النباتي ، ورسّم في خطوطها الكبرى الحلقة التي يجتازها الأزوت .

وتأخذ الحيوانات الأزوت اللازم لها مباشرة من النباتات إذا كانت الحيوانات اعشابية ، أو

بصورة غير مباشرة إذا كانت لحموية . والنباتات نفسها تثبت الأوزون الفضائي ، بواسطة بعض البكتيريا ، بفضل عملية ذات طبيعة بدائية أو مساعدة

ودور الخمائر في دراسة الظواهرات الكيميائية الي توافق مظاهر الحياة ذات مفعول رئيسي . واسم باستور Pasteur مربوط تماماً بتاريخ هذه القضية . وبافعل وكما رأينا سابقاً ، بواسطة هذه المساعدات تظهر البكتيريا عملها .

نأخذ مثلاً محلولاً سكرياً : وبعد اضافة كمية بسيطة من الخميرة التي تنتشر سريعاً ، يتكون كحول . واعتقد باستور ان النشاط الحيوي في خلية الخميرة يتدخل ، لأننا إذا قتلنا هذا النشاط بمادة سامة يتوقف الخمران . وقبل هذه الأعمال بسنوات ، كان برتيلوت Berthelot ، بالعكس من ذلك يعتقد ان هذه الخمائر يمكن ان تعمل بمعزل عن كل مساند حي .

ولدعم هذا الرأي ، عزل من اللعاب، مادة الأنفرتين invertine التي تحول المذوبات السكرية الى مزيج من السكر ايسط . وقبله كان انسلم باين A. Payen وج . ف . برسوز Petsoz قد اكتشفا ، منذ 1834 الدياستاز الذي ساعد على تكون الذكسترين والسكر انطلاقاً من الشاء . واعطى برتيلوت Berthelot لهذه المواد ، التي أخذت تضاف اليها مواد اخرى بصورة تدريجية اسم الانزيمات . وهذه المساعدات الحيوية لها تركيب معقد جداً ولكنها لا تنسم بأية سمة حيائية . ولا يشكل المثل الذي درسه باستور حول التخمر الكحولي سنة 1857 استثناءً : ففي سنة 1897 توصل ادوار بوكسر E. Buchner (1860 - 1917) ، بعد جهود بدت ناشطة بسبب عدم استقرار المادة المنتوجة ، توصل إلى عزل الدياستاز الكحولي الذي يحفظ بكل فعاليته بغياب اية خلية خميرة

3 - الكيمياء والطب

ان التكاثر السريع للمواد الجديدة المعروفة - بسبب تقدم الكيمياء العضوية بشكل خاص - سوف يبرز ابتداءً من الصف الثاني من القرن ، لطبع بداية تأثير عميق ويمتد أحدثه الكيمياء على الطب .

في بادئ الامر ، كانت الملاحظات في أغلب الأحيان عفوية عرضية ، وأصبحت ، فيما يتعلق بمفاعيل بعض المركبات على الجسم الحي ، وبسرعة ، موضوع دراسات منهجية . ومن جهة اخرى حصل الصيدالة (الذين ظلوا طيلة القرن يقدمون للتعليم وللبحث احتياطياً من الكيميائيين المميزين جداً) ، على المبادئ الفعالة ، في حالتها النقية ، والموجودة في الأدوية الكلاسيكية ، وعزل سرتورنر Serturmer المورفين سنة 1806 ، اما « الأترويين » فقد تم الحصول عليه متيلراً سنة 1833 . وفي سنة 1823 اكتشف بليتيه Pelletier وكافنتو Caventou الكينين . وأدى التثبت من الخصائص التخديرية في الأوكسيد النيتري (غاز الهيدران)، والأثير والكولورفورم، الى انقلاب في الممارسات الجراحية .

وابتداءً من هذه اللحظة سوف يتداخل قسم من تاريخ الكيمياء مع تاريخ الطب . ولا نستطيع بهذا الشأن الا ذكر بعض التواريخ البارز :

(1867 - استعمل ليستر Lister الفينول كمطهر سنة 1869 اكتشف ليبريخ Liebreich المفعول المنوم لمادة هيدرات دي كلورال .

وفي سنة 1876 بين ستريكر Stricker ان الأسيد مالبسيليك له خصائص مخدرة .

وفي سنة 1899 اكتشف دريزر Dreser الخصائص التخديرية والطاردة للحمى في الأسيد أسيتيل - مالبسيليك ، اي الاسبرين .

وفي سنة 1833 اكتشف كنور Knorr الانتبيرين . وفي سنة 1897 جرب الاوكاين في مفعوله التخديري الموضوعي . وبأن واحد أدى تطور كيمياء المواد الملونة المدهش الى احداث أثر في علم الانسجة أولاً ، ثم في الاستطباب ثانياً ، وبشكل ضخم . وحوالي سنة 1880 ، وفي الوقت الذي اجُبحت فيه الملونات الصناعية منتوجات تستخدم يومياً ، بفضل صناعة مزدهرة (خاصة في ألمانيا) ، لاحظ علماء الانسجة أن بعضاً من هذه المتوجات لها تألف انتقائي تجاه هذا أو ذاك من التشكل الخلوي . وكانت هذه الملاحظة في أساس الأعمال المهمة التي قام بها بول اهرليخ Paul Ehrlich (1854 - 1915) وهو موجد العلاج الكيميائي (واقترح اسمه سنة 1891) . ولم تتركز فكرة احداث اثر سام انتقائي ، على بكتيريا تصيب وسطاً حياً ، وذلك بفضل ملون يظهر انه يتشبث بها خاصة ، هذه الفكرة لم تتركز بالفعل على تفسير صحيح . الا انها ، رغم ذلك كانت في أساس عدد كبير من الأعمال التي تساعدت فيها الكيمياء مع الطب ، متعاونين لمواجهة قضايا جديدة ولتحقيق نجاحات جديدة .

وقبل نهاية القرن بقليل (1895) بين اهرليخ Ehrlich ان ازرق الميتلين يمتلك نشاطاً حقيقياً ضد عامل الملاريا .

* * *

استنتاج - في خلال هذه الحقبة التي بدأت - إذا قبلنا كلفاظ ارتكاز كيفية ولكن تيسيرية - بالهام ابداعى نزل على دالتون Dalton ، وانتهت بالتركيب التجاري للنيلة ، ازدهرت الكيمياء ازدهاراً مدهشاً في كل مجالات التطبيق التي سوف تصبح بعد كل ذلك مجالاتها .

ان مكتسبات العلم الخالص قدمت ابعاداً لم تكن مأمولة ، لصناعة فتية ولدت في أواخر القرن الماضي تحت شعار التجريبية . وما اصطلح على تسميته بالصناعة المعدنية الكيميائية الكبرى ، كان أول من استفاد من التطورات النظرية التي تفحصنا شبكاتها وأصبح انتاج واستهلاك الأسيد سولفوريك ، كما قبل ، المؤشر الامين على درجة حضارة شعب بأكمله . وفي ما بعد اعطى توظيف « نظرية البنية » في المجال العملي للصناعة الكيميائية العضوية اشارة الانطلاق نحو امتلاك أسواق جديدة كانت بدورها خالقة لاحتياجات جديدة . وقد عملت كيمياء المواد التلوينية بشكل خاص على إرباك قطاعات بأكملها في الصناعة العالمية . في سنة 1897 ، وحتى لا نذكر الا مثلاً واحداً ، صدرت انكلترا أحد عشر ألف طن من النيلة الطبيعية الآتية من الهند . وصدرت ألمانيا ستمائة طن من النيلة الاصطناعية ، وفي سنة 1911 لم تصدر انكلترا الا 860 طناً في حين قدمت ألمانيا للعالم اثني وعشرين ألف طن من الملونات الصادرة عن مصانعها .

هذه الثورة في العلاقات بين العلم وتطبيقاته ظهرت بمظاهر متعددة . لقد كان الانتاج يطلب من الجامعات ومن المعاهد الخاصة كادرات من التقنيين والباحثين المتكاثري العدد : وأصبح تطوير التعليم وتحديثه مطلباً اقتصادياً كانت ألمانيا أولى الدول التي فهمت وجوبه . فإلى جانب مصانع الانتاج ، انشأت المشاريع الكبرى مختبراتٍ صناعيةً وخصصت رساميل ضخمة بحثاً عن المنتجات القابلة للتجارة ، وهي مصدر جديد للربح ولكنه أيضاً مصدر للمعرفة

وفهم بعد ذلك انه في داخل هذه الشبكة التي تزداد ضيقاً ، من التفاعلات بين العلم والمجتمع عمل تشريع براءات الاختراع ، (الذي اختلفت الذهنية بالنسبة إليه بين بلد وبلد : مرة يشجع المخترع ، ومرة يشجع المنافسة ضمناً) ، لعب هذا التشريع دوراً مهماً في تاريخ الكيمياء الحديثة . وبفضل هذا التشريع بشكل خاص ، وفي ظروف يتجاوز تحليلها إطار هذا الكتاب ، عرفت الكيمياء في سويسرا نهضة غير متوقعة بقدر ما هي عظيمة .

الا ان طبيعة النشاط الكيميائي نلت بحلال هذا القرن نقلة عميقة . فالاستاذ ، المحاط بتلاميذ كثر يعون المستقبل الذي يفتحه امامهم التعلم ، والمدير العلمي او الاستاذ المستشار في منشأة نشيطة ، قلما اصبحوا يشبهون الحرفيين المعزولين ، أو الهواة الاغنياء الذين وضعوا الأحجار الأولى لعلم الكيمياء .

واكتسب المختبر ، بشكل غير محسوس صفته العصرية ، وحدد لمهنة الكيميائي اطواره الجديد وفتح امامها امكانيات جديدة . وعملت اكتشافات بدت نافهة مثل اكتشاف حُرَّاق بونسن (Bunsen) بالنسبة الى التدفئة بالغاز ، أو اختراع مضخة الماء (التي اتاحت بفضل المياه الجارية ، التقطير في الفراغ والمصر) ، على التأثير الذي لا يمكن اهماله ، في الانتاج العلمي .

وعرف النصف الثاني من القرن ، الى جانب « حوليات الكيمياء المعهودة الكلاسيكية » الفرنسية والألمانية (والحوليات الألمانية اسسها ليبيج Liebig) المجلات الكبرى الدولية التي تبقى حتى أيامنا هذه أدوات نشر العلم المحدث :

- Journal of Chemical Society of London (1849) .
- Berichte de la Société Chimique de Paris (puis de France) (1864) .
- Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft (1868) .
- Journal of the American Chemical Society (1876) .

وبالاختصار ، وقبل 1900 بقليل ، اصبح هناك جهاز علمي فعال في كل مظهره ، سوف يتبع التعمق في دراسة الواقع الذري ، الذي لم يعد حقيقة تخفى على الكيميائيين ولا على الفيزيائيين .

القسم الرابع

علوم الأرض

في مجال علوم الأرض حقق القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر انجازاً مهماً وذلك عن طريق تعدد وتحسين الملاحظات والادوات ، بعد التمييز التدريجي لادارات الدراسات الرئيسية ، وبعد مباشرة المحاولات الاولى العقلانية في التفسير ، دون التخلي عن الحذر المفهوم .

ان الأعمال الأكثر بروزاً في أواخر القرن الثامن عشر هي أعمال غيتارد وبوفون Buf-fon ، وجيروسولافي Giraud - Soulavie و هـ. ب. سوسور، H.B. Soussure ، وهوتون Hutton وورنر Werner ، وكذلك أولى أعمال و. سميث W. Smith ، وكلهما تشهد لأهمية التقدم المحقق في مجال الجيولوجيا . أما علم التعدين فلقد بقي في مرحلة أقل تقدماً ، ولكن النهضة السريعة في الكيمياء الحديثة ، وفي صياغة مبادئ علم التلر فتحت المجال أمام تطوره . ورغم الجهود المبذولة للتحرير ، والحارية بفعل ضغط الفلسفة العقلانية ، فلسفة عصر الأنوار ، بقي علم المتحجرات ، مقصوراً عملياً على دراسة « المسنونات » (وهي العديدة الفقريات المتحجرة) ، علماً متواضعاً تابعاً للجيولوجيا .

ان هذه الفروع المختلفة للعلم ، المتصلة اتصالاً وثيقاً إلى حد ما بالجغرافيا الفيزيائية ، وبالعلوم الفيزيائية أو بعلوم الطبيعة ، عرفت في القرن التاسع عشر نهضة ضخمة ، هذا التطور وُيَسَمَّ بأن واحد بتوسع ثم بتميز سريعين لحقل البحوث ، وكذلك بتحقيق تقنيات واضحة في مجال الرصد ، ثم بوضع مناهج عقلانية للعمل ثم بشكل خاص بتحرير نهائي تجاه علم اللاهوت .

هذا التوسع وهذا التخصص المتناميان حملانا على دراسة منفصلة لتطور المجالات العلمية الرئيسية المجموعة حتى ذلك الحين تحت الاسم المبهم « علم المعادن » . وهكذا في هذا القسم الرابع المخصص لعلوم الأرض سوف ندرس تباعاً تقدم العلوم النجمية وتقدم علم الجيولوجيا

ان علم المتحجرات رغم بقاءه احد الروافد الرئيسية بالنسبة إلى عالم الجيولوجيا - فإن انشاء علم المتحجرات ذات الطبقات وتطوره السريع هما الدليل على ذلك - واقترب علم المتحجرات بحلال

تطوره أكثر فأكثر من علوم الحياة . ان التطورات الموازية ، في بداية القرن ، والتي دخلت على علم التشريح المقارن وعلم المتحجرات المتعلق بالفقرات ، وكذلك فوز نظرية « التطور » ، بخلاف النصف الثاني من القرن ، كل ذلك يدل فعلاً على أن دراسة النباتات والحيوانات المتحجرة لا يمكن ان تنفصل عن دراسة الكائنات الحية الحالية .

من هذا الواقع ، ورغم ان بعض جوانبه قد رُسمت بإيجاز في الفصل المخصص للجيولوجيا ، فإن نهضة علم المتحجرات سوف تُدرس بصورة رئيسية في القسم الخامس المخصص لعلوم الحياة . هذه التجزئة الظاهرة تتبع بإيجاز الخطوط الموجهة للتاريخ .

ان دراسة ما قبل التاريخ البشري ، وهو خلق حقيقي من ابداعات القرن التاسع عشر ، يرتبط بأن واحد بعلم المتحجرات ويعلم أصول الانسان ويلمم الاثرات ، ورغم ان تاريخ الانسان المتحجر يرتبط بمجريات الأحداث المتنوعة من العصر الجيولوجي الرابع ، فهو أي التاريخ ، لا يمكن فصله عن دراسة علوم الحياة . ان الروابط الضيقة التي تربطه بنظرية التطور تبرز بشكل خاص بفعل ان هذين الفرعين من العلم ، كان عليهما لكي يتكونا بقوة ان يتغلبا على نفس العقبات وعلى نفس المقاومة البائسة .

الفصل الأول

العلوم المتجمية

ان العلماء في القرن الثامن عشر خصصوا لعلم المعادن مجالاً واسعاً لأنهم اعطوا هذا العلم ، من الناحية العملية مجمل المعارف المتعلقة « بالملكة المعدنية » .

ولكن المعلومات تراكمت ، وعلوم الأرض أخذت تتكوّن بصورة تدريجية بخلال القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين مع أهدافها الخاصة ، ومفاهيمها ونظرياتها وقوانينها التي تسمح بتعريفها في حالتها الحاضرة . هذا التفريق يجب ان لا يغيب عن نظرنا الوحدة الاساسية لهذا المجمل الواسع من المعارف ، وهو انعكاس قابل للتحسين باستمرار ، لوحدة التفاعلات التي تجري في القشرة الأرضية .

والواقع ان كل مجالات علوم الأرض ، وحتى القسم من علم النجوم الذي يعالج تكون وتشكل الكواكب ، تقتضي ، لكي تنمو ، معرفة عالم المعادن . ان هذه الاهمية الاساسية في علم المعادن تنبثق عن كون الصخور مكوّنة من معادن ترابية ، وان هذه المعادن هي في طور التغير منذ الأزمنة الأكثر قديماً في تشكل كوكبنا . هذه التغيرات بدت اثناء التطورات البنيوية التي يجب اعادة تركيبها عند مختلف مستويات تنظيم المادة الأرضية ، وهي تتوافق مع الكتل الصخرية الكبيرة في القارات وفي سلاسل الجبال وفي تجمعات اترية المعادن التي هي الصخور ، وفي تجمعات الذرات التي هي اترية المعادن (الركازات) .

وعلى كل ان هذا المفهوم العام جداً للبنية ، لكي يكون مثمراً يجب ان لا ينظر اليه بشكل متحجر ، جامد ، بل يجب ان يساعد على إعادة رسم التاريخ ، تاريخ هذه التحولات ثم التنبؤ بصيرورتها ومستقبلها . إذ امام هذه المستويات المختلفة من التنظيم والملاحظة ، تعبر علوم الأرض عن قوانين التغيرات والتوازنات المؤقتة بين عناصر المادة الأرضية ، تغيرات تجري تحت تأثير التقلبات في ظروف الوسط ، تتبعها المفاعيل الطاقية هذه العوامل القوية الفيزيائية والكيميائية التي هي الماء والضغط والحرارة الداخلية في بطن الأرض .

ان علم الجيولوجيا يبحث في المظهر وفي بنية المجملات الكبرى من الصخور التي تشكل القشرة الأرضية ، كما يضع جدولاً بتغيراتها في إطار الفضاء - الزمن (ان تاريخ الجيولوجيا في القرن التاسع

عشر يُدرس في الفصل التالي من قبل ر . فورون (R . Furon) . وعلى مستوى ملاحظة التراكبات في أترية المعادن والتي تشكل الصخور، يأتي علم وصف الصخور (بتروغرافيا): دراسة التركيب المعدني - الترابي للبيئة ولولادة وتطور هذه التراكبات ، عن طريق التغير الكيميائي والتبلر ، والتشوه الميكانيكي . وأخيراً أن علم المعادن وعلم التبلرات يعمقان البحوث حول أترية المعادن التي تشكل الصخور ، ودراسة الوسط المتبلر ، تدخل إلى اعماق البنية الذرية للحالة الجامدة .

إن دراسة التوجهات الرئيسية في تطور العلوم المعدنية - الترابية والتبلرات بخلاف القرن التاسع عشر تتيح لنا أن نلاحظ صفة الشمول في هذه العلوم



نتائج اكتشافات رومي دي ليسل هاوي Romé de l'Isle et d'Haüy : - في فجر القرن التاسع عشر كان هاوي Haüy في أوج شهرته . ويفضل تصويره للجزء الدامج ، جعل علم التبلر يقفز مرحلة حاسمة ، وأعطى لعلم المعادن قواعده الحقيقية بفضل تعريق اجناسها .

في كتاب له مشهور حول فلسفة علم المعادن وحول النوع المعدني العلمي ، ظهر سنة 1801 ، طور ديودات دولومير Déodat Dolomieu ، بشكل مختلف عن الشكل الذي اعتمده هاوي ، كل النتائج حول الهوية التي وضعها هذا الأخير ، بين مفهوم النوع المعدني ومفهوم الجزء الدامج . لا شك أن هناك مصاعب كثيرة ما تزال موجودة في علم البلورات ، ولكن هاوي قد رسم دروباً جديدة وأقام بطلانية طريقة عمل ما تزال قوتها ثابتة حتى اليوم .

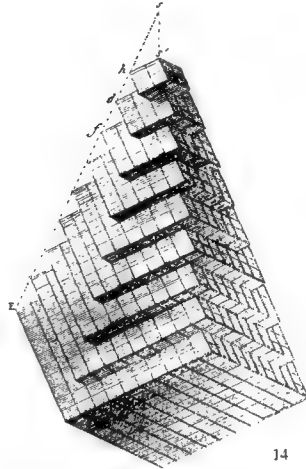
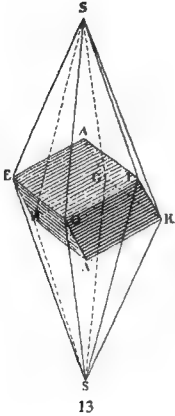
ونجد في عمل هاوي نوعين من الاهتمامات مرتبطتين أحدهما بالآخر : فهناك أولاً دراسة البنية البلورية لذاتها ، وهناك من جهة أخرى ملاحظة الأنواع المعدنية وانحاداتها في الطبيعة ، وتجمعاتها (بشكل صخور أو ترية معادن) .

إن مكمل هذا العمل قد تابعوا بحوثهم في مجالين ، إنما بتخصص في أحدهما أو في الآخر . ومنذ تلك الحقبة ظهرت إذاً التقسيمات الأولى الفرعية لعلم المعادن مرتكزة بصورة أساسية على الخصائص التبلرية والفيزيائية في أترية المعادن ، وعلم خصائصها الكيميائية ، وعلى أنماط المناجم الترابية ونشأتها .

I - علم التبلر الجيومترى والبنية التبلرية

إن الطبعة الأولى لكتاب « علم المعادن » الذي وضعه هاوي سنة 1801 كان له تأثير وازن على بحوث علماء التبلر في بداية القرن التاسع عشر لأن هاوي تفحص في هذا الكتاب نتائج اكتشافاته السابقة التي وسعها أيضاً في كتابه « كتاب علم التبلر » 1822 . أنه في سنة 1815 استخرج قانون التناظر أو السيمترية على أساس القياسات المبدئية التي قادته إلى قانون التنازلات (صورة رقم 13 و14) . هذان القانونان هما ثمرة جهوده الدائبة وترويج لبناء عقائدي جميل .

ورغم وضوحها لم تقبل نظرية هاوي بدون تحفظات من قبل علماء التبلر غير الفرنسيين ، وخاصة



صورة 13. - نواة معينة الشكل لكلس مكربن داخل أحمعية (« كتاب علم التبلر » ، هاوي) .

صورة 14. - مثل عن التنازلات في نظرية هاوي (مرور نواة معينة الشكل لكلس مكربن إلى الأخعية) « كتاب علم التبلر » ، هاوي) .

علياء المدرسة الألمانية . فقد فتنش هؤلاء عن صيغة أخرى في قانون مناطق ويس Weiss المرتكز فقط على الفكرة المجردة نوعاً ما حول أنواع التناظر . ويميز ويس في (دينامية التبلر *Dynamische Ansicht* '804 der Krystallisation) طبقات من البلور جمعها ضمن سبعة أنظمة تميزها فروقات في محاور المراجعة . ان الأوجه البلورية قد عينت بمؤشرات محسوبة سندا للملاقات بين القطع التي تحدثها هذه الأوجه فوق هذه المحاور .

ولكن قانون مناطق ويس يعبر عن قانون هاوي حقاً ، إنما بشكل أقل قرباً من العقل ، ان قانون التنازلات القائل بأن أصلاص مطلق شكل متبلر يجب أن تقطع ضمن علاقات بسيطة وعقلانية بوجوه شكل آخر مطلق ، من ذات النظام الذي يضاف إلى الشكل الأول ، قد سماه علياء التبلر الألمان باسم قانون « عقلانية المؤشرات » أو قانون « الجذيعات العقلانية (*Troncaures*) » ، وهو الاسم

الذي بقي له . ان هذا القانون ليس في الواقع إلا تكملة للحكم المتخذ كأساس لنظرية تنازلات هاوي . وهذه النظرية هي بدورها نتيجة الملاحظات حول الانسحاق ، وهي ملاحظات مفسرة ضمن الفرضية الذرية .

وهذه القاعدة الفيزيائية بالضغط هي التي تجعلها مثيرة والتي ظل علماء التعدين الألمان مدة طويلة يرفضونها . إذ أنهم لم يأخذوا بالاعتبار إلا الشكل الخارجي للبلورات ، جاعلين من علم التبلر علماً جيومترياً خالصاً كما كان أيام رومي دي ليسل Romé de L'Isle ⁽¹⁾ .

وهناك مدرستان نشأتا ، الأولى ذات استلهاً فيزيائي والأخرى ذات توجه جيومتري ومفاهيمها بعد تطورها ، اندمجت أخيراً لكي تشكل البناء الحالي المتسق .
المورفولوجيا البلورية : (علم التشكل) - ألا أن كل علماء التعدين في تلك الحقبة كانوا يتبنون كثيراً لوصف وتصنيف الأشكال المتبلرة (المورفولوجيا البلورية) .

ان أهمية هذه القياسات المتزايدة الدقة لزوايا المتعدد الجوانب من البلورات ، قد عرفت ، فقد تم التوجه الى تقنيات أكثر دقة من تقنية القياسات الذي طبقه كارانجوت Carangeot .

في سنة 1809 أظهر و . هـ . ولاستون W.H. Wollaston مقياسه للزوايا ذي الانعكاسات فوق محور دائري ، افقي ، وحدد بشكل خاص بواسطة هذه الآلة زوايا بلورات الكلسيت . ومن جهتها ، قام و . فيليبس Philips الذي استعمل مقياس زوايا ولاستون وإتيان مالوس Etienne Malus الذي فضل عليه دائرة التكرار (أو مقياس الزوايا ذي المحور العامودي) الذي وضعه بوردا Borda بقياس عدد من البلورات ووجد في أغلب الأحيان فروقات بارزة بالنسبة إلى طروحات هاوي ، وفيها بعد بقليل تم استعمال مقياس الزوايا الانعكاسي الذي وضعه بابينيت Babinet ، المزود بمنظار ذي بؤرة قصيرة يسهل قياس البلورات المنتهية في الصغر .

وفي أواخر القرن التاسع عشر ظهر مقياس الزوايا ذي الدائرتين الذي وضعه غولدشميت V. Goldschmidt وأ . ف . فيدورف E. V. Fedorv (1893) الذي أتاح قياسات أكثر سرعة .

وبخلال القرن التاسع عشر جمع علماء التبلر عدداً ضخماً من المعطيات العددية التي شكلت الأساس الضروري من أجل تصنيف الأشكال والتناظرات البلورية ، وبالتالي وضع نظرية حول بنية البناء البلورية . هذا العمل الضخم قد حقق ضمن وحدة ملحوظة في المسارات العقلانية للفكر وسنداً لمقارنات في الرؤى النظرية والرصد أو الملاحظة .

وكما يذكر أ . مالار E. Mallard ، ان الاهتمام من قبل قادة المدرسة الألمانية وهم : ويس Weiss ، وروز Rose ، ونومان Nauman ، بصورة خاصة ، والمنصب على المظهر الجيومتري لعلم التبلر كانت له « نتيجة حسنة » :

(1) يجب ان نشير إلى ان أحد مزاياء مذكورة ويس انها أظهرت لأول مرة فكرة أهمية الانحماضات كمميزات للحالة البلورية ، وهي فكرة يعبر عنها اليوم بعبارة « الخصائص السهمية المتقطعة » للوسط البلوري .

« ان الجيومترية التي دخلت كسيدة الى مجال العلم ، جلبت معها نظرياتها وأساسياتها والحسابات المتبعة التي قام بها هاوي ، قد استبدلت بحسابات اتيقة وسريعة ؛ ان الطرق الذكية ، طرق المناطق ، والاسقاطات الستيريوغرافية التضخمية والتصغيرية [فن تصوير الأجسام الصلبة على سطح مستوي] والمزاوية [النيومونية Gnomonique] جاءت تقدم اغراء للفكر في ضلال البلورات المعقدة ، الصعب غالباً .»

وفي سنة 1808 خطر لـ ج . برناردي J.J. Bernhardt ان يعتبر وينظر لا الى الأوجه أو إلى محاور المناطق كما فعل ويس ، بل نظر الى المستقيمات التي ، وهي تنطلق من نقطة مركز الجهاز ، تكون عامودية على الأوجه . وفي سنة 1821 أدخل ج . هوسمان J. Haussmann التريغونومترية الكروية في الحسابات البلوغرافية [أو تدوين التبلر] . وطورف . ن . نيومان F. N. Neumann غشاماً هذه الأفكار . فاستخدم كسطوح اسقاطية أي سطح وجو مؤاتٍ في متعدد الأوجه البلوري ، أو سطح الكرة المتخذة مركزها كمطلق لعواميد على السطوح . ان أوجه البلور تمثل هكذا بنقاط تلاقي الخطوط العامودية منها مع سطح الاسقاط (Beitrage Zur Krystallonomie) . ان طرق الاسقاط والرسم التي اقترحها نيومان Neumann - رغم انها قد اعيد اختراعها في سنة 1829 من قبل ج . ج . غراسمان J.G. Grassmann - لم تجتذب الانتباه الا عندما استعملها من جديد و . ه . ميلر W.H. Miller و . ف . آ . كستنت F. A. Quenstedt .

وطور ميلر Miller - وهو يرتكز على أنظمة الرسم البلوغرافي التي وضعها لامي Lamé وخاصة هيول Whewell (1825) اللذان كانا يجعلان اعمال برناردي Bernhardt ويس - مكاسب الاسقاط التضخيمي (الستيريوغرافي) بدقة ووضوح حتى إن كتابه « حول البلوغرافية » (لندن ، 1839 ، ترجم الى الفرنسية في باريس سنة 1842) قد غطى سريعاً على الكتب الأخرى من ذات النوع . ان ترقيمه البلوغرافي معتمد اليوم عالمياً ، رغم ان علماء التعدين الفرنسيين قد فضلوا على ترقيمه ، لمدة من الزمن ترقيم ارمان ليفي Armand Lévy (1837) المرتكز على الأشكال الأولية عند هاوي .

وفي سنة 1830 بين ج . ف . ش . هسل J. F. Ch. Hessel انه لا يمكن ان يوجد الا 32 نوعاً من التناظر في متعدد الوجوه البلوري ، وان محاور التناظر وحدها من النظام 4,3,2 و 6 ممكنة ولكن هذا الاكتشاف ، لم يمتد الى سنة 1891 على يد ل . سوهنكي L. Sohncke .

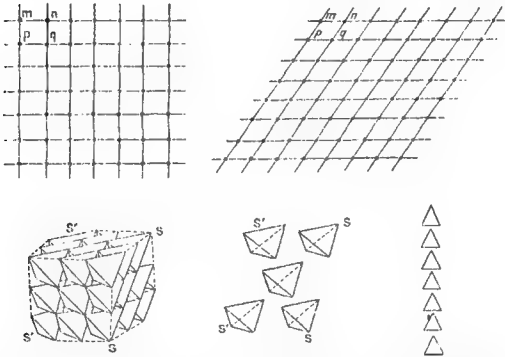
البنية البلورية : - ولكن البلورات ليست كائنات جيومترية مجردة . ان شكلها تعبير محسوس عن بنيتها .

وبالعودة الى مسار الفكر الذي اتبعه هاوي في بداية اعماله ، بين ج . ديلافوس G. Delafosse (1769 - 1878) انه يجب التمييز بين الجزئي الدامج والجزئي الكيمائي . وبحث عن العلاقات القائمة بين الشكل والبنية واستخلص مفهوم الشبكة البلورية ، الموجودة ضمناً في مفاهيم هاوي .

وبالعودة إلى التحليل العقلي عند هاوي حول الانشقاق ، قرر : « انه داخل البلور تكون الخزيثات متباعدة بشكل تناظري ؛ بحيث تقدم في مجملها نوعاً من الصورة الحماسية أو بصورة أدق ، صورة

شبكة متتالية ذات زردات متعددة السطوح والأوجه ؛ وبين « أن الجزئيءالدامج - جزئيءهاوي - ليس إلا اصغر متعدد الأوجه والسطوح المكوّن فيما بين الجزئيات المجاورة بحيث يشكل كل منها الذرة ، أو بمعنى آخر ليس الجزئيءالدامج إلا تمثيلاً للفرجات الصغيرة بين الجزئيات أو الزردات في الشبكة البلورية . وهو إذا متميّز تماماً عن الجزئيءالفيزيائي الذي يمكن أن يكون له ، بل له غالباً ، شكل آخر مختلف تماماً . أن الجزئيءالدامج هو العنصر الذري الحقيقي في الجسم ، يعزل عن كل اعتبار للحالة البلورية : أن الجزئية الدامجة ليست إلا العنصر في بنيتها الجيومترية ، عندما يبدو بهذا الشكل الخاص » . . .

« وثبتت الجزئيات في الرؤوس التي نتكلم عنها [عَقْدُ الشبكة] لا بشكل غير متزعزع بل في حالة توازنية مختلفة الاستقرار . . » (حول بنية البلورات ، 1840 ؛ بحوث حول التبلر منظوراً إليه في علاقاته الفيزيائية والرياضية ، 1843) .



الصورة رقم 15 - الشبكة البلورية كما رسمها ديلافوس : صفوف من الجزئيات بتدنى تناظرها عن تناظر الشبكة (شرح النصف - سطحية في البوراسيت) . أن طرفي المحور الثلاثي في مكعب البوراسيت لا يشابهان فيزيائياً . ح - ديلافوس ، البحوث حول التبلر ، 1843)

وأحل ديلافوس Delafosse بدلاً من مفهوم استمرارية المادة ، المقبول ضمناً من هاوي ، مفهوم اللأاستمرارية واستطاع ، وهو يحاول الوصول إلى حقيقة الجزئيءالفيزيائية في ترتيب الذرات التي تكوّنها ، الدخول بصورة أعمق مما فعل هاوي ، إلى جوهر البلور بالذات ، فاعطى زخماً جديداً لعلم البلورات .

وبالفعل توصل الى معرفة كيفية تأثير الاشكال المختلفة التي يمكن ان تكون عليها هذه الجزئيات، على النتيجة النهائية لعملية التبذر . هذا التأثير يكفي لتفسير الخروج المزعم على قانون التناظر في بعض الأنواع شبه المعدنية مثل البيريت والبوراسيت والتورمالين والكوارتز الخ . وبين هذا التأثير أيضاً أن نظامين بلورين مختلفين يمكن ان يكون لهما اشكال مختلفة ، لأن التمايز الحقيقي بينهما يتركز على اختلافهما في البنية على صعيد الجزئي . واقتنع ديلافوس Delafosse بجسدى النظرية الذرية فانتقد الصفة الجيومترية الخالصة في نظرية المدرسة الألمانية ، كما انتقد الفلسفة الميتافيزيقية « عند الحركيين » وهي الفلسفة التي ركز ويس المدرسة المذكورة عليها ، وهي فلسفة تتعارض تماماً مع المذهب الذري .

ويشكل عمل ج . ديلافوس مرحلة حاسمة في نمو علم التبذر في القرن التاسع عشر ولكن بحوثه الصبورة والعميقة كسفت بالعمل البراق الذي قام به أوغست برافي Auguste Bravais (1811 - 1863) الذي إليه يعود الفضل في تقديم التطورات الأولى لنظرية المجاميع الشبكية ، كما اعطى الجهاز الرياضي الذي يمكن من توضيح سمات هذه المجاميع .

وفي مذكرة له أولى (1848) درس برافي Bravais باديء الأمر ، ومن وجهة نظر جيومترية خالصة بنية وتناظر الأجسام المتبلورة مختزلاً كل جزئي ، بمركز ثقله النوعي ، واعتبر البلور كمجموعة من النقاط . ومن الملفت ان نلاحظ ان مسائل رسم التنظيم النباتي ، وخاصة مسألة ترتيب الأوراق حول الجذع ، هي التي قادت برافي الى ان يبحث عن الخصائص العامة التي يتمتع بها مجموع منظم من النقاط في الفضاء .

ووضع القوانين التي تنظم العلاقات بين تناظر الجزئي البلوري و تناظر الشبكة المختارة ، فميز بين اثني وثلاثين طبقة من التناظر البلوري موزعة على سبعة أنواع من المجموعات الشبكية التي تتطابق مع سبعة أنظمة بلورية قال بها هاوي ومع اثنين وثلاثين نوعاً من متعدد الأوجه البلورية قال بها هسل Hessel .

وبين « ان ظاهرة الانغلاق ، وظاهرة الظهور الكثير الحدوث نوعاً ما لهذه الأوجه أو تلك مرتبطتان بالثقل النوعي للنسيج الشكلي للأوجه » . ان قانون برافي هذا بدأ مثمراً جداً . فهو يتطابق مع حقيقة موضوعية وهو يتيح استخراج القوانين التي تربط الخصائص الفيزيائية والجيومترية لهذه الأوساط .

في « دراساته البلورية » (1851) عالج برافي دراسة الظواهر العامة التي تدور حول الجزئي . وأوضح ان هذا الجزئي هو نظام من النقاط ، متعدد الأوجه حقيقي ، مزود كالبلور ذاته بسطوح تناظرية ومحاور تناظرية . الخ ، وانه تجاه تناظر جزئي معين تتوافق بنية بلورية معينة أيضاً . وان التناظر المسبق الموجود في متعدد الوجوه الجزئي هو سبب التناظر الملحوظ في المجموع البلوري . وهذا يفسر الظاهرة المسماة « نصف سطحية » كما اعلنها ديلافوس أولاً . ومع ذلك ترى نظرية ديلافوس وبرافي ان الوسيط البلوري هو متجانس وان الجزئيات المكونة كلها متوجهة بنفس الشكل . وهذه النظرية لا تتوافق تماماً مع بعض الأحداث مثل الاستقطاب الدوار ومثل وجود بلورات يمينية ويسارية ، في عدة مواد ، تشبه البلورات التي سبق ودرسها باستور . وبدان انه من اللازم لاكمال هذه النظرية

افتراض وجود، في البنية البلورية، زيادة على متعددات الأوجه الجزئية ذات الانحماجات المتنوعة والمتراكمة، متعددات أوجه غير قابلة للتراكم بفعل عمليات التناظر المقبولة عادة .

وبالارتكاز على هذه الاعتبارات قام الرياضي الفرنسي ك. جوردان C. Jordan سنة 1869 ثم ل. سوهنكي L. Sohnke (1879 و1888) وآ. م. شونفلز A. M. Shoenflies (في النظام البلوري والبنية البلورية) (1891 Krystallsysteme und Krystalstruktur) و أ. ف. فيدوروف E. V. Fedorov (1885 و1895) ووليم بارلو William Barlow (ابتداءً من 1888) ثم بيار كوري Pierre Curie فاقترحوا البحث عن كل التركيبات من الأشياء الموزعة ضمن فضاء غير محدود وغير ملاتم مع متطلبات التناظر البلوري. وكان من الواجب من أجل التوصل إلى ذلك، توسيع شروط التناظر الموضوعة من قبل برافي ثم التطلع إلى وجود، ليس فقط المحاور التناظرية من رتبة 2, 3, 4, 6، أو إلى مراكز أو سطوح التناظر، ولكن أيضاً إلى المحاور اللولبية وإلى سطوح الانزلاق والتناظر التنفلي .

هذه النظرية حول البنية وضعت تماماً من وجهة نظر رياضية من قبل شونفلز وفيدوروف Schoenflies, Fedorov اللذين قررا وجود 230 مجموعة تناظرية أو مجموعات فضائية، إلا أن تطبيق هذه النظرية على الحقيقة الفيزيائية التي يشكلها الوسط البلوري قاد إلى معضلة أن نحن اقتصرنا على مفهوم متعددات الأوجه الجزئية (برافي Bravais ومالار Mailard)، أو على مفهوم الجزئية البلورية المعقدة المحدث من قبل واليرات Wallerant انطلاقاً من معطيات نظرية شونفلز حول تشابك الشبكات المتوافقة (في المجموعات الفضائية) ومفهوم المجال الأساسي (القسم من الفضاء البلوري الذي لا يوجد بداخله أي عنصر من عناصر التناظر) .

وفي سنة 1904 لاحظ جورج فريدل Georges Friedel أن هذا المفهوم يركز على فرضية نوعين من الأعمال بين الجزئيات المادية المتنوعة: التآلف الذي يجمع الذرات فيحولها إلى جزئيات، ثم التماسك البلوري الذي يجمع بين الجزئيات ليجمع منها بلورة. وبدلاً من المحافظة على فرق واضح بين هذين العمليتين - داخل الجزئي البلوري - فضل القول بوجود عامل، متناظر أساساً، ومركب من جزئيات مصفوفة على مسافات مختلفة أن الشبكة هي بناء هندسي يبنى انطلاقاً من نقطة ما في وسطها وتبقى دائماً على حالها مهما كانت النقطة المتتعة. وعلى صعيد الملاحظة المتعلقة بالمسافات الذرية نزول التناسقية إذ لا يعود بالإمكان اعتبار كل نقاط البناء البلوري متماثلة فيما بينها .

إن نظرية البنية البلورية قد توصلت أذاً إلى درجة عالية من الكمال إلا أن لا شيء يسمح بافتراض إمكانية التوصل إلى سر ترتيب المادة داخل عنصر بلوري. سوف نرى أن القرن العشرين بعد اكتشاف تناثر أشعة X بواسطة البلور (فون لوه Von Laue, 1912) قدم الأدلة التجريبية على النظرية الشبكية .

مجموعات البلورات أو الكدورات، والائنية البلورية المعقدة : - عدداً عن البلور، وهو بناء بلوري متماسك، يوجد عدد كبير من البناءات البلورية الأكثر تعقيداً (تسمى كدورات) مؤلفة من عدة أقسام متناسبة ومجموعة بعضها بالنسبة إلى البعض الآخر وفقاً لقوانين محددة تماماً. وقد ظن أكثر المشتغلين بالتعدين قديماً أن هذه المتوجات الطبيعية ناتجة عن تلاصق نصفين من البلورات ادار

أحدهما ظهره للآخر (مفهوم التبلر التصفي) .

والواقع ان مثل هذا التجمع يتوافق مع بناء بلوري حقيقي ومفرد ولكن القانون العام بالنسبة إلى الكدورات والذي عرفه هاوي والذي أعلن عنه في بعض الحالات براهي ، ووسمه فاشمله العديد من حالات البلورات الميكروسكوبية مالا E . Mallard ، وطوره واليرانت F . Wallerant انطلاقاً من اعتبارات من عناصر التناظر الأقصى (1899) - هذا القانون العام لم يضع بكل عمومته الا من قبل ج . فريدل G . Friedel سنة 1904 . والكدورات الحاصلة بالفعل الميكانيكي ، والمكتشفة من قبل روش Reusch سنة 1867 . والمدرسة فيها بعد من قبل بومهور Baumhauer ومن قبل مويج Mügge مماثلة تشبه الكدورات التي تحدث فعل التبلر وهي تتبع نفس القانون العام .

II - الخصائص الفيزيائية لاشباه المعادن

1 - الخصائص البصرية للبلور

الانكسار المزدوج : - في سنة 1672 نشر برتهولين E . Bartholin اكتشافه للانكسار المزدوج في سبات إيسلندا . وفي سنة 1674 ، قدم هويجنس Huygens تفسير ذلك في نظريته حول التموجات . إن تجربة في موشورين سداسيين من السبات ، تصورها ، ورصد خصائص أربع صور للمصدر حاصلة هكذا ، تبعاً لمواقع نسبية في هذين الموشورين ، قاده [أي التجربة والرصد] إلى تقرب الحالة الخاصة في ضوء شعاعين منحرفين (حالة « الاستقطاب » ، تبعاً للتعبير المستعمل في كتابه « دراسة حول الضوء » (1690) . وعلى كل بدت هذه الحالة غير متلائمة مع فرضية التموجات في اتجاه الشعاع ، واستنتج نيوتن منها ان شعاع الضوء يتكون من جزيئين مزودين بنوع من الاستقطابية .

ولكن بخلال القرن التاسع عشر غمت بصورة تدريجية المعرفة بالعلاقات الحميمية القائمة بين تناظر البلورات وخصائصها الانكسارية المزدوجة .

واكتشف مالوس Matus الاستقطاب بواسطة الانعكاس (1808) ثم عاد إلى فكرة نيوتن فشبه « الجزيء الضوئي » بالمغناطيس بحيث أنه يكتسب قطبين واتجاهاً كلها محددة . وصمم مالوس عدة أجهزة لدراسة الاستقطاب بواسطة الانعكاس أو بواسطة الانكسار المزدوج . ودرس عدة بلورات متنوعة وعرف ان الشعاعين المنكسرين هما مستقطبان تالياً ضمن سطوح متعامدة فيما بينها . وفي سنة 1811 اكتشف أراغو Arago ودافيد بروستر David Brewster مستقلين الاستقطاب التلوي في الشفرات الرقيقة البلورية ، مما أعطى لعلم التعدين طريقة حساسة جداً لاكتشاف وتتبع انكسارية الضوء المزدوجة .

وفحص ج - ب . بيوت J - B . Biot . ود . بروستر الخصائص البصرية في العديد من البلورات . وقرر بيوت الفروقات بين البلورات ذات المحور الواحد وذات المحورين ، السلبية والإيجابية . واكتشف بروستر وولاستون Wollaston صور التداخلات التي تتبع بسهولة التمييز بين هذه الفروقات .

ان هذه البحوث ، التي بينت الرابط بين الخصائص البصرية والجيومترية في الوسط البلوري ،

قد جمعت من قبل بروستر ضمن مجموعة مهمة تحت اسم « في قوانين الاستقطاب والانكسار المزدوج في الأجسام البلورية المنظمة » (1818). وعند درس الأمثلة العديدة وتقرير الرابط بين الخصائص البصرية « والشكل البصري » للبلورات اكتشف بيوت بعض أخطاءه عند هاوي وخاصة في حالة الجبس . وقدم ترابطاً مقعماً بين الشكل وبين الخصائص البصرية في البلورات الموحدة الخواص والمتباينة الخواص ولكنه لم يستطع التوصل تماماً إلى الترابط بين المواد ذات المحور الثاني .

وعلى أساس نظرية تموج الضوء نجح فرنسل Fresnel بشكل باهر في تفسير ترابط الخصائص التي درسها بروستر ، وبيوت وأراغو . ولعب كتابه « حول الانكسار المزدوج » (1827) دوراً أساسياً في تطور الابصار البلوري النظري . وهكذا ، وبخلال خمس عشرة سنة توصلت الدراسة المنهجية للخصائص البصرية للبلورات إلى درجة عالية من الكمال .

ويين سينارمونت Sénarmont ، وهو يدرس البلورات الكاملة المكونة من عدة أنواع من الجزيئات (بلورات مختلطة تسمى ذات أشكال موحدة) ، في سنة 1851 ، ان اطلاقاً موحدة الأشكال كيميائياً وهندسياً يمكن ان تكون لها خصائص بصرية متنوعة جداً ، ومتغيرة باستمرار تبعاً لنسب الأصلاح داخل المزيج . وكانت تجاربه التركيبية تهدف إلى البحث عن أسباب عدم ثبوتية الخصائص البصرية ضمن بعض المجموعات الطبيعية من أشباه المعادن من أمثال الميكا والزبرجد . وأثبت ارضاده حول المحاور البصرية في « الميكا » توقعاته .

وكان دي كلوازو Des Cloiseaux في فرنسا الناشر الحقيقي للطرق البصرية ، فادخل تحسينات على ميكروسكوب أميسي Amici ونورنبرغ Nörrenberg البصريين وغير المبرمجين ، واللذين كانا قيد الاستعمال يومئذ . ثم في ثلاث مذكرات (1857 ، 1858 ، و 1869) فحص الخصائص البصرية في 468 شبه معدن أو ملح واكمل اعمال غريليش Grailich وفون لانغ Von Lang ، فدرس في الضوء الأبيض التشتت في البلورات ذات المحاور المزدوجة والمثلثة المتناظرة ، وقدم تعريفاً لثلاثة أنماط من التشتت : المائل والافقي والمتصالب .

وطور بحوث « سينارمونت Sénarmont » حول الخصائص البصرية في السلاسل ذات الشكل الموحد وركز على أهمية هذه الخصائص في تعريف الاجناس شبه المعدنية ، خاصة بالنسبة إلى مجموعة الفلدسبات التي كرس نفسه لها طيلة اكثر من عشرين سنة . ويعتبر انجاز كلوازو الأساس المتين لعلم الحجارة الحديث . وقد أتاحت مقرراته الصبورة الجارية حول مقاطع سمكية ذات اتجاه معروف مباشرة تطوير دراسة الصخور ذات المقاطع الرقيقة وذات الاتجاه الحر .

الاستقطاب الدائري : - في سنة 1812 لاحظ بيوت في الكوارتز بعض مفاعيل الاستقطاب التي تبدو معزوة إلى دوران سطح استقطاب الضوء النازل . ولكنه ، كنصير لنظرية الجسيمات الضوئية ، لم يستطع العثور على تفسير معقول للملاحظات . وفرنسل هو الذي قدم ، مرتكزاً على نظرية التموجات ، تفسيراً كاملاً للاستقطاب الدائري . وفي السنة التالية درس بيوت الاستقطاب الدائري في مختلف البلورات وفي الوسائل العضوية واكتشف وجود اتجاهين في الدوران يمين ويسار ، واعلن القانون الذي يربط زاوية الدوران بالاتجاه الذي يتبعه الضوء ، وبالسماكة المجتازة ثم بطول الموجة .

واكتشف ج هرشل J. Herschel ، وهو يظن ان هذا الدوران الابصاري معزو لانعدام التناظر في الشكل وفي البنية ان بلورات الكوارتز هي في أغلب الأحيان ذات أوجه شبه منحرفة (الأوجه المسطحة Plagiédres عند هاوي Haüy) الموضوعية بشكل تكون فيه أوجه بعض البلورات أوجهاً بالنسبة إلى سطح ذي أوجه تقطع بلورات أخرى. وبين العلاقة بين هذا الترتيب والدورانات اليمينية واليسارية للضوء من خلال البلور. وإذاً يوجد علاقة بين الاستقطاب الدائري والبنية البلورية . ان الاستقطاب الدائري للكوارتز وكذلك استقطاب كلورات الصودا قد درست من قبل الدكتور مارباش Marbach . واكتشف كلوازو استقطابات السينابر وسولفات الاستركنتين . ولكن الاستقطاب الدائري في محلولات بعض الاملاح العضوية بقي ظاهرة فيزيائية غريبة على علم التبلر ولم تقرر اكتشافات باستور حول الأسيد تارتريك وحول التارترات العلاقة بين هذه الخاصة التي أظهرها محلول هذه الأجسام والأشكال الخاصة التي ترتديها هذه الأجسام وهي في حالة البلور (1848 - 1852) .

وارتكز كلوازو على اكتشافات بيوت وأراغو وهرشل فعلم على بلورة التارترات المزدوج للسوديوم والامونيوم المرزامي [العنقودي] غير الناشط في حالة الذوبان ، وحصل على صنفين من البلورات ذات الأشكال غير القابلة للتراكيم (enantiomorphes) كانت صور بعضها البعض في مرآة . وبعد فصل البلورات بعناية بواسطة العدسة ، هذه البلورات التي لها نصف سطح يميني عن البلورات ذات نصف السطح اليساري لاحظ ان الأولى يجب ان تكون دائماً إلى اليمين من سطح استقطاب الضوء والثانية دائماً إلى اليسار . وبعد عزل أسيدات مجموعتي التارترات ، اكتشف انها في حالة الذوبان مزودة بدوران ذي اشارات ، ثم بعد ترتيبها وخلطها بكميات متساوية أعاد استحداث الأسيد غير الفعال .

وعندها أصدر باستور الفرضية القائلة بأن ترتيب الذرات في جزيئات هذين المركبين هو أيضاً ثنائي الشكل (راجع بهذا الشأن دراسة ج . جاك ، القسم 3 ، الفصل 7 ، الفقرة III) .

وبتتبع ظروف تجاربه حول تضاعف التارترات ، أشار إلى امكانية استحداث جسم يميني اصطناعي بواسطة الجسم الأيسر المتوافق وبالعكس .

تغير الخصائص الابصارية تحت تأثير الحرارة : - بينت تجارب بروستر Brewster وميتشرليك Mitscherlich انه في بعض البلورات تتغير زاوية الوجوه وزاوية المحاور الابصارية ، واتجهوا سطوحها تبعاً لدرجة الحرارة التي تخضع لها هذه البلورات . وأوضح نيومان Neumann هذه الخاصية بالنسبة إلى الجبس والبورق Borax . وضاعف دي كلوازو تجاربه حول كل الأجسام ذات المحور المزدوج التي درسها . فوجد بشكل خاص ان « الأورتوز » يتغير بشكل مماثل ويصبح التغير دائماً عندما تتجاوز درجة الحرارة سبع مئة درجة ستتراد ، وهذه الملاحظة مفيدة بمقدار ما تحتوي بعض الصخور البركانية هذا النوع من « الأورتوز » الذي أطلق عليه اسم الأورتوز المشوه .

وهناك أشياء معادن أخرى تحتوي على تربة نادرة (اورتيت ، وغادوليت واكسينيت الخ) ، تصبح في حالة الالتهاب عند بلوغها درجة معينة . وأطلق عليها كلوازو اسم المعادن « البيرونومية Pyrognomiques » ، ثم بالتعاون مع دامور Damour درس الظاهرة التي تنتجها والتغيرات في الخصائص الابصارية التي ترافقها . وفي القرن العشرين تبين ان الخصائص الخاصة في هذه أشياء

المعادن (المسماة مينايمكت من قبل بروغر Brögger سنة 1893) هي مرتبطة بوجود عناصر مشعة استقطاب الاشعاعات أو ظاهرة اختلاف الألوان ، وتلون البلورات : - في سنة 1819 درس بروستر بشكل منهجي امتصاص الضوء في البلورات . وبين انه في البلورة ذات المحور الواحد يقل الامتصاص الى الحد الأدنى في اتجاه محور الابصار ويبلغ الذروة عندما يكون الاتجاه عامودياً على هذا المحور ، ولكنه لم ينجح في التثبت من القوانين المتعلقة التي تحكم الامتصاص في البلورات المزدوجة المحور .

ان أغلب الملاحظات حول تعددية الألوان قد حصلت في تلك الحقبة بواسطة صورتين مستطبتين بزاوية قائمة ، قدمتهما العدسة الديكروسكوبية التي صنعها هيدنجر (Haidinger) .

ان التجارب الأولى حول تعددية الألوان في البلورات الملونة اصطناعياً يعود الفضل فيها الى سينارمونت (1854) الذي بين ان مطلق مادة ملونة متشعبة ضمن الشبكة البلورية ، وغريبة عن تركيبها وعن بنيتها ، يمكن أن تجعلها متعددة الألوان الى أقصى حد ، كما يفعل « التورمالين Tourmalines » .

أما أصل تلوين أشباه المعادن الطبيعية ، فقد افترض عموماً ، منذ عصر هاوي ان الألوان العارضة في أشباه المعادن الصوانية وخاصة الأحجار الثمينة تعود إلى تسرب اكسيدات المعادن (مثل الكروم والحديد والمنغنايز الخ) وفيما بعد قدم بعض المؤلفين (امثال ليفي وفورنت وجانيتاز Jannettaz) فرضية وجود مواد ملونة عضوية من نوع الصمغ ، وهي فرضية أثبت عدم صحتها ، ما عدا بعض الاستثناءات النادرة .

الشذوذات الابصارية : - اعطى تطبيق الطرق الابصارية لدراسة أشباه المعادن معنىً جديداً لاستعدادات العلماء المختصين . ومع ذلك يعثر على حالات خلافية بين النظرية والتجربة ، فبعض المواد ذات التناظر المكعب أظهرت تشعباً مزدوجاً للضوء واضحاً . ويدت مواد أخرى مزدوجة المحور عندما لم يظهر تناظرها إلا محوراً واحداً . وعندما جمع ر . براونز R . Brauns (1891) جميع الحالات المعروفة ، بين اميل مالار E . Mallard ان البلورات غير الطبيعية تتألف من أقسام متميزة ذات تناظر يقل عن تناظر المجموعة على أن تكون الأقسام المتميزة مصفوفة بشكل بناء أكثر تناظراً .

ويحت مالار حول سبب هذا التجمع أيضاً . وفي الماضي بين باستور ان أي صنف شبه معدني من شأنه أن يولد بلورات تنتمي إلى نظامين مختلفين ، فان الشكل الأكثر تناظراً هو شكل حدي أو مقرب من الآخر ، وعمم مالار هذا المفهوم للتناظر الحدي فاشمله التجمعات الشبكية واستنتج منها تفسيراً للكدرورات أو الرواسب وكذلك محاولة لتفسير تعددية الاشكال (Polymorphisme) .

2 - خصائص فيزيائية أخرى

النقل التوهي (النقل) الصلابة والتمدد : - بين شارل دوفيل Ch . Deville ان أشباه المعادن الصوانية تنحسر من 6 إلى 10 بالمئة من ثقلها الأول عندما ننقلها من حالة التبلر الى حالة الزجاج واستنتج من ذلك ان عملية التبلر تتم بتكثيف ضخم للمادة .

ومنذ الملاحظات التي قدمها هويجن وقدمها العديد من العلماء الألمان (أمثال : م . ل . فرنكنهيم M. L. Frankenheim ، وسيبك Seebeck وف . نيسومان . ول . سوهنكي L. Sohncke وفرانز وج . غريليش Graetich) عرف ان الصلابة ، المقدرة عموماً بواسطة السكليومتر Scléromètre ليس لها نفس القيمة في كل نواحي نفس البلور ، وان تغيرات الزخم تتناسب مع التناظر . وفي سنة 1865 قدم هوغيني Hugueny تعريفاً أكثر دقة لهذه الخاصية وقرر طرقة جديدة لتحديد لها وميز بين التماسك أو الصلابة العادية والتماسية .

ويعود الفضل إلى فيزو Fizeau بسلسلة من المذكرات الجيدة (1866) حول التغيرات التي تحدثها الحرارة في الحجم وفي الخصائص البصرية للأجسام الصلبة . فبين - في الأنظمة ذات أكثر من محور تناظري - وجود ثلاثة اتجاهات رئيسية (محاور حرارية) تتماثل مع محاور المطاطية البصرية ومع المحاور البلوغرافية .

التوصيلان الحراري والكهربائي : - بعد تذويب تدريجي لطبقة رقيقة من الشمع البكر المستقرة فوق سطح من الشفرات البلورية ذات الاتجاهات المختلفة لاحظ سينارمونت (Sénarmont) ان التوصيلية الحرارية مرتبطة بتناظرية البنية البلورية (1847) . ووسع فون لانغ Von Lang (1866) وجاننتاز E. Jannettaz (1873) هذه البحوث فاشملاها العديد من البلورات . وهكذا تم التوصل إلى مفهوم السطح التحارري (المتولد من حرارة ثابتة تتوافق عناصر تناظرها مع عناصر البلور بالخصائص الابصارية) . وبشكل مماثل بين سينارمونت بواسطة جهاز بديع هذا الترابط بالنسبة الى التوصيلية الكهربائية (1849) .

الكهربائية الحرارية والكهربائية الضغطية (Pyroelectricité et Piézoélectricité) - عرف هاوي ان التورمالين والبراسيت يتكهربان بالحل أو التسخين ، وان ظهور هذه الكهرباء الحرة تبدوا ذات علاقة مع بعض اجزاء البلور وقدم ب . ريس P. Riese وج . روز G. Rose (1843) فكرة المحاور الكهربائية والأقطاب ذات الاشارات المتعاكسة في حين ربط ديلافوس Delafosse هذه القطبية الكهربائية بمفهومه لتصفوف الجزئيات نصف السطحية في البنية البلورية . .

واكتشاف الكهرباء الضغطية من قبل ب . وج . كوري Curie (1881) قدم تأكيداً لهذه الفكرة وذلك عند اثبات ان الضغط أو الشد الحاصل باتجاه محور كهربائي ينمي الكهرباء كما يفعل تغير درجة الحرارة .

المغناطيسية وعكسها : - ان الخصائص المغناطيسية في اشياء المعادن كانت بخلاف القرن التاسع عشر موضوع بحوث خاصة قام بها بصورة رئيسية ديلس Delesse وادمون بيكيريل E. Becquerel . وفي مذكرة حول المغناطيسية القطبية لاشياء المعادن والصخور (1849) عرف ديلس ان الكثير من اشياء المعادن غير الحديدية هي ذات مغناطيسية ، وانه ، في بلور ما ، ليس لتوزيع القطبين أية علاقة بهذه المحاور البلوغرافية . ودرس بيكيريل مفعول المغناطيسية على كل الاجسام مما قاده إلى تدخيل مفعول الأوساط المجاورة في تفسير الظواهرات المغناطيسية .

التوهج الفوسفوري والتوهج الفلوري : - هذه الخصائص المعروفة منذ زمن بعيد كانت موضوع دراسات ملحوظة من قبل ادمون بيكريل .. وبين ، بواسطة جهاز خاص ، و المرصد الفوسفوري ، ان مدة التوهج الفوسفوري تختلف باختلاف الأجسام ، فأصدر الفرضية بأن التوهج الفلوري ليس إلا توهجاً فوسفورياً مدته قصيرة جداً . وقد بينت البحوث اللاحقة صحة هذا المفهوم .

حت البلور وغوه : - من أجل تحديد تناظر بعض البلورات عندما نموزنا الطرق الأخرى استعمل بعض الكتاب علاقات التناظر التي تظهر بين صور التآكل ، الحاصلة لبعض أوجه البلور المدروس ، وبين عناصر هذا البلور (نيدولت Leydolt ، 1854 ؛ ف. بيك Becke ، بومهور H . Baumhauer ابتداء من 1809 ؛ لافيزاري lavizzari 1865 L .) .

ومن بين البحوث الأولى حول نمو البلورات وشروط تطور الأوجه البلورية تشير إلى أعمال ب . كوري حول تكون البلورات ، والثوابت الشعرية في مختلف أوجهها ، ثم أعمال م . ويسكي M . Websky وآ . سكاشي A . Scacchi وآ . هـ . ميرز H . A . Miers حول « الأوجه المتصلة » (Vicinales) .

III - الخصائص الكيميائية في أشباه المعادن ، البلوغرافية الكيميائية

ان البحوث المتعلقة بالتركيب الكيميائي لأشياء المعادن قد تطورت بخلال القرن التاسع عشر ، مرتبطة بدراسة التركيبات الكيميائية وتحديد صيغها الذرية . وعلى كل ومنذ القرن الثامن عشر أعاد كاپيلر M . A . Cappeler الاشكال البلورية لعدة مواد اصطناعية ؛ في حين وصف رومي دي ليسل Romé de L'Isle عدة مستحضرات كيميائية متبلرة وبين ان سلفات النحاس وسلفات الحديد يمكن أن يندجما ليبلرا (1772) .

و درس نيكولا لبلان Nicolas le Blanc (1742 - 1806) الذي اشتهر باكتشافه أول طريقة لاستخراج الصودا من كلورير الصوديوم ، مع فوكيلين Vauquelin شروط تبلر عدة أملاح ولاحظ على نموذج حجر الشب ان شكل البلورات يتعلق بطبيعة المحلول (قلوي أو حيادي) هذه الطبيعة التي تتولد فيها هذه الأملاح ، وأنه من جهة أخرى يمكن استبدال قسم من الألومين بـ « سكي - أوكسيد » الحديد ، أو البوتاس بالأمونياك .

النشائية أو التماثل في الشكل : علق هاوي ان كل مادة كيميائية لها أسلوبها الخاص في التبلر وأن كل أشكالها تنبثق عن شكل أولي بدائي . وكانت منزلته بحيث قبل هذا المبدأ منه بما يشبه الاجماع رغم الاستثناءات العديدة التي جمعها الرصد والملاحظة . وأتاح النقل (مقياس الزوايا) الانعكاسي الذي وضعه و . هـ . ولاستون W.H.Wollaston (1809) القيام بقياس للزوايا لحد الدقيقة تقريباً . ولكن هاوي رفض قبول القياسات الجديدة التي لا تتوافق مع تنبؤاته .

ولكن في سنة 1815 بين ج . ن . فون فوش J . N . Von Fuchs ، إنه بالإمكان اعطاء المجهلنيت

($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_6$) صيغة بسيطة إذا افترضنا أن العديد من المعادن الثنائية التكافؤ يمكن أن يمثل بعضها محل البعض في البلور . وفي سنة 1817 نشر ملاحظاته حول الكالسيت والأراغونيت (وهما شكلان من أشكال CaCO_3) وعرف التشابه الوثيق بين كربونات المعادن الثنائية التكافؤ مثل : (Pb , Ba , Sn) مع الأراغونيت ، وتشابه NO_3Na مع الكالسيت . وفي الماضي اكتشف كلايروت Klaproth (1788) ، ثم فوركروا Fourcroy وفوكيلين Vauquelin (1804) تماهي التركيب الكيميائي في الأراغونيت وفي الكالسيت .

في سنة 1818 لاحظ ف. س. بودان F.S. Beudant أن بعض أزواج المركبات مثل سلفات الحديد والزنك يمكنها أن تولد بلورات متجانسة (« بلورات مختلطة ») ذات تركيب وسطي ، إلا أنها تأخذ مرة شكل أحد الأملاح وتارة شكل الآخر .

ولكن الفضل الأساسي في اكتشاف التشاكلية وعكسها أو تعدد الأشكال يعود إلى « الهارد ميتشرليك » (Eilhard Mitscherlich) (1794 - 1863) . الذي طور بحوث بودان ، بين 1818 و 1819 فدرس مع روز ، بواسطة النقل أو مقياس الزوايا الذي وضعه ولاستون ، أشكال مختلف البلورات الاصطناعية . ولكن برزيليوس طلب إليه المجيء إلى ستوكهولم للعمل حيث نشر في سنة 1821 كتابه الأول الكبير حول التشاكلية وعدم التشاكل (راجع أيضاً في هذا الموضوع دراسة ج. جاك J. Jac. ques القسم 3 الفصل 7) .

وستنداً للتعريف الذي قدمه ميتشرليك ، بالاستناد إلى نتائج بحثه حول البلورة المتزامنة في الارمينيات (الزرنخات)، وفوسفات البوتاسيوم والأمونيوم، يكون مركبان عديدان متشاكلين إذا كان لهما نفس النموذج ونفس صيغة التركيب الذري، وفضلاً عن ذلك ، أشكال بلورية متساوية تماماً ، بحيث انهما يتبلران ضمن نفس النظام ، وبأشكال ذات زوايا قليلة الاختلاف تماماً . وبحسب لغة العصر تتألف المركبات المتشاكلة ذات النمط الواحد من التركيب ، ولهذا بالذات ، من جزيئات فيزيائية ذات شكل متشابه يمكنها أن تحمل محل بعضها البعض وأن تخلط مع كل الأشكال متبلورة معاً (1820) .

وانخفضت غالبية الكيميائيين والمعدنين هذا المبدأ كدليل مرشد في النقاش وفي حساب تحليلات أشباه المعادن المعقدة . ووسع أوغوست لوران (1845) هذا المبدأ بالذات ، مفترضاً أن التشاكلية يمكن أن تتجاوز حدود الأنظمة البلورية . فضلاً عن ذلك ارتأى إمكانية التبادل بين مختلف الأوكسيدات المعدنية في أشباه المعادن التي تحتويها . ونالت وجهة النظر هذه فيما نالت موافقة راملسبرغ Rammelsberg .

ولكن عمل ميتشرليك أثار انتقاداً حاداً لأنه بدلاً من أن يعتبر التشاكلية كتعبير عن قرابة ملحمة فيزيائية كيميائية ، جعل منها ، هكذا ، قانوناً مجبره يقوم جسمان يتوفر فيها أحد الشروط الملغنة ، بشكل إجباري بتوفير الشرطين الآخرين . وجرت وجهة النظر هذه العديد من المصاعب والمناقشات .

إلا أن مفهوم التشاكلية أتاح تأويلاً أفضل للتركيب الكيميائي المعقد لعدد وافر من أشباه المعادن

كما أتاح إعطاء هذه الأخيرة صيغة بسيطة عن طريق تجميع بعض العناصر المركبة لها وفقاً لفكرة الاستبدالات التشاكلية بين العناصر الكيميائية ثم تشكيلها وفقاً لسلاسل تشاكلية من أشباه المعادن .

من ذلك مثلاً أن هسل J. F.C. Hessel (1826) ثم تشرماك G. Tschermak (1865) بينا أنه بالإمكان اعتبار سلسلة الفلدسبات البلاجيوكلازية كسلسلة متتالية من البلورات المختلطة العائدة إلى اختلاط الحدين الاقصيين (ألييت وأنوريت) التشاكليين . وبدأ هذا المفهوم مفيداً لدراسة الصخور البلورية ، لأن أشباه المعادن في هذه السلسلة تشكل 40% من القشرة الأرضية .

وعلى نفس الخط قامت دراسات متتالية تناول تغير الخصائص الفيزيائية ، وبشكل خاص الوزنية أو الثقل النوعي ، والخصائص البصرية ، تبعاً للتركيب الكيميائي للبلورات المختلفة (ماكس شوستر Schuster ، 1881 ؛ أ . ميشال - ليفي ، 1877 و 1894 ؛ فوكيه Fouqué ، 1894) .

التشاكلية الثنائية والتشاكلية المتعددة : - عرف ميتشرليك Mitscherlich أن بعض المركبات الكيميائية لها خاصية التبيلر تحت شكلين مختلفين ، وضمن شروط متنوعة ، بحيث أنه في كل حالة من حالات التشاكلية الثنائية ، يكون لدينا جسمان من نفس التركيب الكيميائي ويتميزان بنظامهما البلوري . وقد لاحظ علماء التعدين أنه في بعض حالات التشاكل الثنائي ، يشكل أحد الشكلين البلوريين المحوطين حداً مجاوراً للشكل الآخر ، ومتطابقاً ، مع تغيرات خفيفة في قيمة العناصر التي تكوّن هذا الشكل الآخر . وقرر باستور Pasteur عمومية هذا الحدث (1848) واكتشف العديد من الأمثلة حول التشاكلية الثنائية في المواد النشطة الاصطناعية .

ومنذ الزمن الذي بين فيه كلاپروث Klaproth أن كربونات الكالسيوم تتبلور بشكلين : الكالسييت الرومبودريك والأراغونيت أورثورومبيك L'aragonité orthorhombique اكتشفت حالات عدة من التشاكلية الثنائية والتشاكلية المتعددة . وبين م . ل . فرانكهيم M. L. Frankenheim أنه تحت تأثير بعض العوامل مثل الحرارة قد تتغير البنية البلورية .

وهكذا توسع حقل التجارب ، وقامت اكتشافات عديدة في هذا السبيل على يد ليمان ومالار ويرويو وجرنر الخ . . . Lehman , Mallard , Wyrouboff , Gerné ,

التجانسية التماثلية Homœomorphisme : - عدا عن حالات التشاكل بالذات قد يظهر بين شبه معدنين تماثل في الشكل وفي كل نقطة ، تماثل يشبه تماثل المواد المتشاكلة حقاً ، دون أن يكون لها نفس التركيب الذري المشابه ، وقد لفتت هذه الواقعة انتباه علماء التعدين المشهورين أمثال دانا Dana وبروك Brooke وميللر Miller ونومان Naumann وديلافوس Delafosse الخ .

وأطلق في القرن التاسع عشر اسم التجانسية التماثلية والتعددية التماثلية على هذا النوع من التشاكل الهندسي الخالص ، ثم فيما بعد اقترح ف . رين F. Rinne اسم ISOTYPIC أو التجانسي النمطي لهذا التشاكل .

كانت مسألة العلاقات بين تركيب البلورات المختلطة من جسمين أو أكثر متشاكليين ، ومسألة

الوسط (ذوبان أو magma المغنا ذاتية) موضوع بحوث دقيقة جداً قام بها - روزيموس B. Roozeboom (1891) وموتغان Muthmann وكونتز Kuntze (1894) وفسوك Fock (1897) وفانت هوف Van't Hoff (1897 إلى 1906) ، بحوث كانت لها تطبيقات عملية مهمة في حقل الصناعات الكيميائية وفي التعدين .

التحليل الكيميائي لأشياء المعادن : - إن التعريف للأصناف شبه المعدنية يتركز على الخاصيتين الأساسيتين : التركيب الكيميائي والشكل البلوري . وعندما طرح هاوي مفهوم الجزئيء الدامج في أساس تعريف الأنواع ، ركز بذات الوقت على ضرورة وجود تحليلات كيميائية كمية صحيحة وكاملة ما أمكن .

وأكاملاً لعمل م . هـ . كلايبروث M. H. Klaproth (1743 - 1817) الذي يعتبر كمؤسس للتحليل شبه المعدني الكمي ، جمعت معطيات كثيرة من هذا النوع من قبل كيميائيين وعلماء معادن أمثال : فوركر و فوكيلين ، وبرتوليت ، وبرزيلوس ، وراملسيرغ ، ودامور ، وروز وديلس وهـ ش . سانت - كلير دوقيل ، وبيزاني .

وهكذا تم اكتشاف أشباه معادن جديدة ، ليس هذا فقط بل عناصر كيميائية جديدة مثل الثيوبيوم من قبل هاتشett Hatchett (1801) ، والتانتال من قبل اكبرغ Ekeberg (1802) والبالاديوم ولروديوم من قبل ولاستون Wollaston (1803) والاسيوموم والأيريديوم من قبل سميتون تينانت Smithson Tennant (1804) ، والبود في رماد النباتات البحرية من قبل ب . كورنوا (1811) ، والليتيوم (في البتاليت ، التريفان وبعض التورمالين) من قبل أرفيدسون Arfvedson (1817) ، والكديميوم في اوكسيد الزئبق والزنك من قبل ستروميرو Stromeyer (1818) والثوريوم في الثوريت من قبل برزيلوس (1825) واللاتان وسلسلة التربة البادرة في اشياء المعادن الشمعية في التروج من قبل موسندر Mosander (1838) الخ .

وتطورت الدراسات الأولى حول توزيع مختلف العناصر الكيميائية في أشياء المعادن بذات الوقت . وهكذا وضعت قواعد الكيمياء الأرضية للجيوكيميا التي ابتكر اسمها من قبل شونين - Schönbein سنة 1838 ولكنه لم يُستعمل إلا في بداية القرن العشرين عندما أخذ هذا العلم يزدهر بحق .

وهكذا في أثناء القرن التاسع عشر تطورت الطرق والوسائل التحليلية النوعية السريعة الملائمة لحاجات علماء التعدين وعالم الاستكشاف الأرضي :

1 - المحاولات عن طريق النافخة (او المحاولات السريعة الحرارية) التي تستعمل فوارق سلوك المواد شبه المعدنية تحت تأثير الحرارة (برزيلوس 1821) ؛ بلاتنر ، لوبيليف ، تورنر ، ريجتر ، ترايل الخ) . .

2 - المحاولات الميكروكيميائية المرتكزة على أشكال ذاتية خاصة في البلورات المحصول عليها بواسطة كاشفات خاصة كيميائية ، وعن طريق ترسيب المحلولات الملحية الناتجة عن مهاجمة أشياء المعادن بمختلف الأسيدات : (برنز 1881 ؛ بورجوا 1893 ؛ يوريكي 1877 ؛ كلاسان ورونار 1886 ؛ سترينغ 1885) .

IV - المستعمرات شبه المعدنية في الطبيعة : ولادتها وتحولاتها

ان تعريف علم المناجم الموضوع سنة (1807) من قبل الكسندر برونيارت Brongniart يشير الى بعض المبادئ الأساسية في البحث تبقى دائماً صالحة ..

كتب يقول : « ان التاريخ الطبيعي لأشياء المعادن لا يتألف فقط من تاريخ خصائصها أو سماتها المميزة . فمناجمها العامة أي كيفية وجودها في الطبيعة وموقعها النسبي في باطن الأرض ، وتشكلها أو تفككها ، وتأثيرها على الأجسام الأخرى ، وطبقاتها المنجمية الخاصة الأكثر بروزاً ، ثم استعمالاتها الرئيسية في الفنون ، كلها تشكل القسم الأكثر أهمية في درس هذه الأجسام . وهذه المعارف هي بالنسبة إلى تاريخ أشياء المعادن كاللوحه من العادات ومن الوظائف العضوية بالنسبة إلى التاريخ الطبيعي للحيوانات » .

التصنيفات المنجمية فيما يتعلق بأشياء المعادن ثم مفهوم النوع شبه المعدني : ان التصنيف الجيد لا يقتضي ان يكون جدولاً بسيطاً بالوقائع أو الأحداث ، انه أداة بحث . وهو ، أي التصنيف كقاعدة أساسية لكل عمل نظري يتيح الارتفاع من المفرد الى الخاص ومن الخاص الى العام ، انه يربط بين هذه الاحايين المتنوعة في معرفة الأشياء المرتكزة على مفهوم النوع . وقيمة التصنيف تتعلق بهذا المفهوم المتسع باستمرار والشامل لكل مرحلة من مراحل المعرفة السائرة في طريق النمو . هذه التأولات العامة تبدو حساسة بشكل خاص بالنسبة إلى عالم المعادن . هذا العالم يتوجب عليه النظر في مختلف مستويات الملاحظة ، ولذا يتوجب عليه ان يقوم بعمل تصنيفي ليربط بين الأشياء والأحداث . في أواخر القرن السابع عشر وفي مطلع القرن الثامن عشر اهتم علماء الطبيعة اهتماماً متزايداً بأشياء المعادن لتحديدتها وتصنيفها . ولكن غالبيتهم لم تفهم جدوى الطريقة الدقيقة التي اتبعها ستينون Stenon في دراسة الأشكال البلورية وفي عملية تطور البلور . ومن جهة أخرى كانت الكيمياء يومئذ في طفولتها ، وفي أواخر القرن الثامن عشر إذا كان بعض علماء التعدين أمثال برغمان Bergman (1792) وكرونستد Cronstedt (1753) ، وفون بورن Von Born (1790) قد نبؤوا الصفات الكيميائية كمبادئ ، فان هذه المبادئ كانت معروفة بشكل غير كاف ولم تكن تؤدي إلا الى تعريفات نوعية غامضة وفي أغلب الأحيان غير صحيحة .

ولهذا تركز الانتباه كله على الصفات الخارجية . وبالأرتكاز على هذه الصفات حاول فاليريوس Wallerius (1747) ، وبعده ورنر Werner (1773) تجميع الاصناف ، ثم اعطاء قواعد من أجل تشخيصها . وفي سنة (1735) ركز ليني Linné على أهمية الشكل البلوري .

ان ملاحظات لومونوسوف Lomonossov (1745) ، واكتشاف قانون ثبات الزوايا في متعدد الأوجه من البلورات ، على يد رومي دي ليسل (1783) قد ركزت بشكل أكثر وضوحاً على السمات البلوغرافية . ولكن إلى هاوي يعود الفضل في أنه ميّز في هذه السمات بين ما هو أساسي من أجل تعريف الأنواع الشبه معدنية . ورغم أنه في بداية دراسته قد فضل التركيب الكيميائي ، إلا انه لاحظ فيما بعد ان هذا التعريف كان ناقصاً . وكان موجهاً بالرغبة في بلوغ عملية تشكيل البلور من أجل تعريف السمات الأساسية في النوع . فنظر إلى البنية على أنها السمة المميزة لأشياء المعادن (1800)

واستنتج أن سمة النوع تكمن في جزئه الدماغ باعتباره النقطة الثابتة التي تنطلق منها الطبيعة في تشكيل أشباه المعادن. وحلل هذا المفهوم، وبين (هاوي) كيف أن الجزئي الدماغ يحمل طابع ما سماه «وظائف الجزئيات الأولية» واستنتج من ذلك بأن مساهمة البلوغرافيا والكيمياء ضرورية للحصول على مفهوم صحيح وكامل للنوع. وعلى كل حال بسبب عدم دقة التحليلات، التي تُعزى إلى عدم نقاوة أشباه المعادن، فضل هاوي Häuy اللجوء إلى الجزئي الدماغ كمعامل تمييز. ولكن نظرية هاوي واجهت مصاعب عندما أريد تطبيقها على حالات التشاكل المتعدد وعلى التشاكالية بوجه عام. وكان هاوي حول هذا الموضوع جدال مع برنوليت (1811)، ورفض بدون تحفظ فكرة التشاكالية التي ادخلها ميتشرليخ Mitscherlich سنة 1818.

ونظرية هاوي إذا فُهمت تماماً تتطلب، عند اقرار أحد الأنواع، الفهم المتساوي للسماط البلوغرافية والكيميائية بأن واحد. ألا أن هاوي Häuy، في التطبيق، مال إلى تغيير طبيعة طريقته لكي يجعل منها نظاماً بلوغرافياً شبه خالص. ومن جهة أخرى تقبل بتخلف التمييز الذي قال به برزيليوس (1815) بين المعادن ذات الكهربائية الايجابية والمعادن ذات الكهربائية السلبية، رغم أنه في تصنيفه اعتبر الركاثر (Bases) أي العناصر ذات الكهرباء الايجابية كروابط بين الأجناس.

ان تصنيف هاوي قد ساد في فرنسا حتى جاء بودان Beudant سنة 1830 فعمل ضد هذه السمة التي تغلب فيها البلوغرافية بشكل حصري واقترح منهجاً آخر كان له وقع كبير.

ولاحظ بودان ان الخصائص الفيزيائية ليست كافية لتمييز الأنواع، وان تجميعها في أصناف يقتضي اللجوء إلى المشابهات الكيميائية. ولكنه وقد ابتعد عن وجهة نظر برزيليوس ظن، وهو يستند إلى مفهوم التشاكالية ان المبدأ الكهربائي السليبي يجب ان يخدم هذا التصنيف. وانضم برزيليوس فيما بعد إلى هذا المفهوم. وقدم الكسندر برونيارت Brongniart، في جدولته حول توزيع الأنواع شبه المعدنية (1833) سمة مختلطة من الناحية الكيميائية. ورسم آ. دوفرنوا A Dufrenoy (1845) عودة أكثر كمالاً إلى طريقة هاوي القديمة. ولكنه أدخل تغيرات تحطم كل الأسر الطبيعية للأنواع والتي ساعد اكتشاف التشاكالية على تكوينها.

ان الجدل حول الأفضلية التي يجب اعطاؤها إلى إحدى هاتين المجموعتين من السماط : البلوغرافية أو الكيميائية، فقد مرره بمقدار ما تطورت المفاهيم حول البنية الشبكية للبلور، وبخاصة عندما أتاحت أشعة X في القرن العشرين تحليل ترتيب الذرات ضمن الشبكة.

التحولات الكاذبة : - بخلاف الحقب الطويلة من تاريخ الأرض تعرضت أشباه المعادن لتغيرات جرى تعميق صفاتها الدورية، المكتشفة منذ أواخر القرن الثامن عشر من قبل جيمس هوتن James Hutton، على يد علماء الجيولوجيا في القرن التاسع عشر. وما إن تشكلت، المجموعات العابرة من الذرات التي هي البلورات، وتجمعات البلور التي هي الصخور، حتى دمرت أو تغيرت بفعل الحث والترسب والتغير، وبفعل الماء والضغط والحرارة الداخلية في الأرض. وأعيدت هذه التجمعات إلى توازن بلوري ذي بنية منتظمة نوعاً ما مع تحقيق مستوى الطاقة الأكثر استقراراً ضمن ظروف بيئية محددة.

وحملت البلورات في أغلب الأحيان آثار هذه التغيرات وأبرز هذه السمات أو الآثار هو ما يسمى بالتحول الكاذب الذي سببه حلول جسم شبه معدني حديث محل جسم قديم ، وظل الشكل البلوري لشبه المعدن القديم قائماً ومحفوفاً . وقدم هاوي ، أولاً ، في بداية القرن التاسع عشر ، تعريفاً دقيقاً للتحولات الكاذبة ، ثم جاء كل من بريتهوت Breithaupt (1820) ثم لاندغريب Landgrebe (1841) ، و . ر . بلوم R . Blum (1843) وديليس Delesse ، يصفون العديد من النماذج ؛ ثم طبق ف . ي . جينيتز F . E . Gemitz (1876) الطرق الميكروسكوبية . وكان الأول في ذلك .

علم وصف الصخور : - لكي نفهم جيداً تطور علم وصف الصخور في القرن التاسع عشر ، نحب العودة عن مفاهيم مدرستين من كبار المدارس الجيولوجية ، التي كانت تتصارع في أواخر القرن الثامن عشر : مدرسة ورنر Werner ومدرسة هوتن Hutton (راجع المجلد الثاني) .

يرى ورنر أن الغرانيت كان صخرة ذات منشأ طيري رطب ترسب كرسوب من محيط كوني مفترض . وهي فكرة آمن بها أيضاً دويانتون Daubenton . أما هوتن فقد رأى أن الغرانيت قد دُوب وأدخل في الصخور التي يوجد فيها

وقام تلميذان لورنر هما فون همبرلت A. Von Humboldt ، وليوبولد فون بوش Leopold Von Buch فحسنا عمله . وبالفعل ، في حين اقتصر ورنر على منطقة الساكس ، درس تلميذاه البراكين الحية وقارنا بين العديد من المناطق ذات المعادن . وهكذا توصلنا إلى التخلي عن الأفكار البسيطة جداً لمعلمها ، حول تشكل الطبقات أو الصخور البركانية المترسبة .

وقدم هامبولت الملاحظات الأولى حول العلاقة القائمة بين الطبقات شبه المعدنية والصخور البركانية معلناً بالتالي أعمال أبيه دي بومونت Elie de Beaumont حول المقذوفات البركانية والمعدنية ؛ وكان هذا نقطة انطلاق لبحوث لاحقة قام بها برتييه Berthier وإيلمان Ebelmen ، ودوروشه Durocher ، وسينارمونت Sénarmont ، ودوبري Daubrée ، وميشال ليفي A . Michel - Lévy ، ولوني L . de Launay .

وأوضح ليوبولد فون بوش من جهته اصطفااف البراكين فوق شقوق كامنة في القشرة الأرضية وقدم الملاحظات الأولى حول تطور الصخور .

مع التصنيفات التي طاولت الصخور والتي نشأت في القرن التاسع عشر انطلق المجهود الرامي إلى التنيق والتفسير من مستوى الملاحظة المتوافق مع تجمعات البلور (الصخور) المتبرة لا لذاتها فقط بل تبعاً لنشأتها أي من الناحية الجيولوجية .

استعمل ورنر بأن واحد هذين النوعين من الاعتبارات المنجمية والجيولوجية ، مع إعطائه للاعتبار الثاني أهمية أكبر : بالنسبة إليه تعتبر الصخور « أنواعاً من الجبال » (Gebirgsart) .

وبالمقابل اعتمد هاوي وسرونيارت كأساس لتصنيفها للصخور، السمات المنجمية فقط . وفي سنة 1822 وصف هاوي الصخور لذاتها « بالاستقلال عن مواقعها النسبية في الطبيعة ، وسنداً لسماتها الخاصة والتي تلحق بها أينما كان » .

أما سرونبارت (1827) فقد جعلها سنداً لتركيبها شبه المعدني وأدخل بشكل منهجي مفاهيم البنية والنسيج . ولكن وبعد أن بين مساوي التصنيف الجيولوجي الخالص قال :

« كل هذه المساوي تزول إن نحن ، بعد تحديد الصخور بشكل شبه معدني وبلاستقلال عن مواقعها النسبية ، عرضنا بالتالي ، وعلى حدة ، وبكل التفصيلات اللازمة ، تاريخ موقعها وعلاقاتها التكوينية » .

إن تقدم الأرصاد الجيولوجية أدى بصورة تدريجية إلى تمييز ثلاثة أنماط من الصخور : البركانية ، التحولية ، والترسية . ولكن علم وصف الصخور ، ظلما اقتصر على الفحص العام الشامل للسمات الخارجية في الصخور ، فإنه لم يستطع حقاً أن يتطور ، رغم الجهود الممدوحة التي بذلها كوردن (1816) وديليس (Delesse) (1848) لتحديد المقادير النسبية لأشباه المعادن المكونة ، عن طريق الفصل الميكانيكي ، أو عن طريق تقدير المساحات التي تحتلها هذه الأشباه ، داخل صفائح مصقولة مأخوذة من الصخرة المدروسة .

إن المؤسس الحقيقي لعلم وصف الصخور الحديث هو الإنكليزي سوربي Sorby الذي طبق الميكروسكوب الاستقطابي على الشرائح الرقيقة التي عمل نيكول Nicol منذ (1827) على تفصيلها وقطعها من أشباه المعادن ومن الصخور . لا شك أن العديد من علماء الطبيعة كانوا في تلك الحقبة يطبقون تقنية نيكول أمثال واثام Witham (1831) وبرونبارت (1840) لدراسة الخشب المتحجر . وأخذ العديد من علماء الإحصاء ينشرون جداول غنية بالأشياء الأكثر توعاً بعد قطعها إلى شفرات رقيقة مثل : العظام ، الإنسان والعقيق والخشب المتصونن السخ ؟ ! ولكن الإنباه لم ينصب نهائياً على الخشب الموجود في هذه الطريقة من الفحص الأفضل الجهود التي كرسها سوربي لبنية الرخام والباريتين (1856) والغرانيت ومضموناته (1858) . وبعد هذا التاريخ تالتت الملاحظات التفصيلية بسرعة نذكر منها أعمال فون رات Von Rath (1860) ، وأعمال جرهارد Gerhard (1861) وروش Reusch ، فوجلسانغ Vogelsang ، وزيركل Zirkel (1870) وتشرماك Tschermak ، ودي كلوازو Cloiseau ، ومالار Mallard ، وفوكي Fouqué وميشال ليفي Michel - Lévy وآ . لاكروا A . Lacroux .

إن هذه الأعمال قد أدت بعد سنة 1870 إلى تشكل مدرستين لوصف الصخور كانتا تتمثلان بصورة رئيسية ، بزيركل Zirkel وروزنبوش Rosenbusche ، وفون لاسو Von Lasaulx ، ولوسن Lossen ويوريكي Boricky ، الخ . من جهة في ألمانيا ، ومن جهة أخرى من قبل ف . فوكي F. Fouqué واوغست ميشال ليفي ثم آ . لاكروا في فرنسا .

وبذات الوقت أدى تطور طرق البحث بعلماء وصف الصخور إلى الاستعمال المنهجي للتحليل الكيميائي الكمي ، ممزوجاً بالفحص الميكروسكوبي ، من أجل تحديد طبيعة أشباه المعادن المكونة ، وبنية تجمعاتها وكذلك نسبها المختلفة . وفي أواخر القرن التاسع عشر تمت العودة إلى الدراسة الميكروسكوبية للصخور الرسوبية بنجاح بعد سوربي Sorby مع موراي Murray ورنارد Renard ومع لوسيان كايو Lucien Cayeux .

وعندما نقيس اليوم التقدم المحقق في مجال وصف الصخور بفضل استعمال الميكروسكوب الاستقطابي ، نعجز عن تخيل كيف انه في بداياته قد أثار اعتراضات قاسية من قبل علماء جيولوجيا عظام . هل يتوجب ان نرى في هذا الموقف تأثير أفكار أوغست كومت Auguste Comte الذي صنف - في لائحته التي تضمنت « المشاكل الخطرة » التي يتوجب على العلماء الاعتماد عليها لانها بحسب رأيه ، خارج نطاق قدرة العقل البشري - كل الأفكار التي تتعلق بالبحوث الميكروسكوبية ؟ ومهما يكن من أمر ان الملاحظات الدقيقة الميكروسكوبية ، المحمّعة بخلال القرن التاسع عشر هي التي أتاحت تركيز تصنيف الصخور البركانية على قواعد تتزايد دقتها .

واتخذ روزنبوش Rosenbusch (1887) كنقطة انطلاق حصرية لتصنيفه اسلوب الترتيب الأولي للصخور . وميز الكتل العميقة عن الصخور الركانية الممتدة بشكل عروق ، وعن صخور التهاوي épanchement . ولكنه أدخل أيضاً اعتبارات ذات طابع تعديني شبه معدني ، كما أدخل تعميمات حول شروط الموقع ، وهي اعتبارات تعرضت للنقاش الشديد خاصة من قبل آ . ميشال ليفي (1889) . وقد ابرز هذا الأخير « الخطأ الفاسم على الرغبة في الحصول من تصنيف صخري ، على صف الصخور بشكل مجموعات جيولوجية » ، ثم أقام مع ف . فوكيه F. Fouqué تصنيفاً مرتكزاً على التركيب شبه المعدني وعلى البنية ، وكذلك على المعطيات الكيميائية التي هي نقطة انطلاق التصنيفات الحديثة .

ان الصفة الفطرية لتصنيف ميشال ليفي تنبع من أن هذا التصنيف يعتمد شروط تبلر الصخور البركانية انطلاقاً من المعايير الأصلية ، وأن هذا التصنيف يعترف ليس فقط بحدود درجة الحرارة والضغط ، كما يفعل روزنبوش بشكل حصري ، بل أيضاً يعتمد دور العوامل التي ساعدت على تكون أشباه المعادن ، وهودور قد حدده بصورة جيدة دوبري Daubrée وإيلي دي بومونت Elie de Beaumont وهنري سانت كلير دوفيل Henri Sainte - Claire Deville .

تحويلة الصخور : - لقد ذكرنا كيف أن القشرة الأرضية تتعرض لتحويلات دائمة ذات طابع دوري ، بتأثير من الماء والحرارة الداخلية للككرة الأرضية ثم الضغط . ومن بين أهم المشاكل التي يتوجب على الجيولوجيا و « المينيرالوجيا » أو علم أشباه المعادن حلها ، لفهم هذا التطور ، كانت مشكلة التعرف على المقادير النسبية التي يتوجب إعطاؤها لتأثير الماء ، وللتأثير الحراري الناري (igné) . والمسألة قد بحثت منذ زمن بعيد ، ثم تعقدت بعد اكتشاف العديد من الصخور التي تحمل ظاهرياً وسمه المنشأ المزوج .

واعتبرت هذه الصخور من قبل ورنر وكأنها تنتمي الى تربة انتقالية أو الى تريتات وسيطة ثم اعتبرت من قبل هوتون Hutton وكأنها نتيجة تحول الصخور تحت تأثير الحرارة . وفيها بعد أكد ليوبولد فون بوش على أن البثوثات الكيميائية ، زيادة على الحرارة ، تستطيع أيضاً تحويل هذه الصخور .

ان فكرة « التحويلة » إى التحول اللاحق للصخور الرسوبية أو البركانية قد وضعه فيها بعد لييل Lyell . وفي فرنسا اكدت الملاحظات التي قام بها بروشانت دي فيليه Brochant de Villiers وإيلي دي بومونت ثم دوفرنوا Dufrénoy في جبال الألب وفي جبال اليرينه ، هذه الأفكار حول إلتحويلة

مع تقبل فعل الماء في هذه الظاهرة . وبذات الوقت ، عُرف ان الغرائث الذي كان يعزى إليه المفعول الأقوى على الصخور المحيطة به ، هذا الغرائث ، ربما انه لم يحصل أو يتكوّن عن طريق الذوبان الباطني الخالص ، ولكنه ربما تشكل ضمن ظروف وسط بين الظروف التي سادت تشكل سلاسل العروق (Filons) العادية ، والظروف التي سادت تكوّن الصخور البركانية ، علماً بأن تبلر هذه الصخرة أي الغرائث لم يكن بالضرورة يُعزى إلى تجدها في أعماق عميقة جداً وقد أكدت ارساد سوري حول السوائل المحبوسة في الجيوب الميكروسكوبية في قلب الصخور وجود مفعول لها وللحرارة في تشكل الغرائث .

وقد حملنا أيضاً على الظن بأن صخوراً أخرى بركانية ربما انها تكوّنت بواسطة الماء ، في درجة من الحرارة أقل بكثير مما كان يُظن .

في « دراساته حول جبال الألب » (1845 - 1849) قرر فورني Fournet التفريق بين التحولية بفعل من الخارج Exomorphe (مفعول الصخر الناري الجوي على المخزن الرسوبي المحيط) والتحولية من الداخل Endomorphe (تأثير المخزن الرسوبي على الصخر الناري الجوي) وقدم تحليلاً دقيقاً للظواهر العامة بخلاف هذه التحولات المتبادلة .

ويُسن دوروشي Durocher بأن المبتوثات الصادرة عن الينابيع الخارارية يمكن أن ترتبط بظواهر التماس ، حالها كحال مفاعيل التحولية وتشكل عدد كبير من المكامن ذات التربة المعدنية .

ولجأ ديليس الى الرصد المباشر ، وإلى التحليل الكيميائي للصخور ثم إلى الفحص شبه المعنى الذي يتناول الصخر البركاني والصخر المغلق أو المحيط فحصل (1846) على معطيات عديدة جديدة حول التحولية « الخاصة » أو « التماسية » ودرس أيضاً التحولية العامة التي تتناول مناطق بأكملها والتي لفت الانتباه إليها بشكل خاص إيلي دي بومونت .

واهتم علماء جيولوجيون آخرون بالتحولية ، مثل ألكس برونيبارت ، دوماليوس D'omalius ، ش. دوفيل ، غيمار Gueymard ، لوري Lory ، في فرنسا ؛ هـ . آ . دولايش de la Beche ، ر . مورتشيسون Murchison ، غريناف Greenough ، ج . فيليبس ، بوليت سكروب Poulett Scrope في انكلترا ؛ أ . فون هبولت ، كردنر Credner ، فوش Fuchs ، في ألمانيا ؛ روجرز ، وبني Whitney ، ستيري هانت Sterry Hunt ، في أمريكا .

V - النيازك

عدا عن الاهمية التي تمثلها النيازك بالنسبة الى علم الفلك ، فهي ذات أهمية ، من حيث طبيعتها الذاتية ، بالنسبة إلى علماء التعدين وإلى علماء الجيولوجيا ، فالنيازك هي فعلاً الرسائل الملموسة الوحيدة التي نتلقاها من الفضاء الكوني ؛ ومعرفة تركيبها توحي لنا بمعلومات سواء فيما يتعلق بطبيعة الأجرام المتناثرة في هذه الفضاءات الكونية كما حول تاريخ كوكبنا .

فمنذ أقدم العصور لفت سقوط النيازك انتباه الناس ، إن لمنظرها الخلاب كظاهرة أو كموضوع

فصول يفتح المجال أمام الأوصاف الأكثر غرابة . ولكن المعرفة العلمية الحقبة هذه الاشياء لم تكن قديمة جداً .

لقد ساد عدم التصديق منشأ هذه النيازك خارج نطاق الأرض الى ان جاءت أعمال الفيزيائي الألماني كلادني Chladni المثابرة في سنة (1794) فقدم براهين قوية لصالح هذه الأطروحة .

وجمع العديد من الملاحظات في تلك الحقبة من قبل علماء بلدان مختلفة منها فرنسا وانكلترا وألمانيا والنمسا والولايات المتحدة الخ . وفي حين انضمت غالبية علماء المعادن والفيزيائيين غير الألمان الى رأي كلادني ، ظل العلماء الفرنسيون في مجملهم معارضين لهذه الأطروحة . واعتقد لابلاس Laplace وبواسون Poisson بأن النيازك ليست إلا مقذوفات من البراكين القمرية . ولم ينحصر الفرنسيون إلا أمام استنتاجات بيوت Biot حول سقوط «النسر» Aigle (أورن ، 26 آب ، 1803).

وجرى العديد من التحليلات الكيميائية للنيازك خلال القرن التاسع عشر ، وكذلك دراسات حول تركيبها شبه المعدني . ونذكر منها أعمال هوارد Howard الذي بين أولاً ثبوتية النيكل ، ثم أعمال برزيلوس ، وأعمال أوهرل Wöhler ، وتوماس غراهام Thomas Graham الذي اكتشف الهيدروجين الحر في حديدية نيزكية ، وأعمال فوكيلين Vauquelin ولوجيه Laugier التي كشفت عن وجود شبه ثابت لمعدن الكروم ، وتحليلات دوفرنو Dufrenoy وبيزاني Pisani ودامور Damour وبوسينغولت Boussingnault واقترح دوبري Daubrée تصنيفاً للنيازك استعمله من أجل عرض مجموعة متحف باريس . وكانت مبادئه مرتكزة على الأبعاد النسبية في الحديد النيكل والسيليكات وظلت هذه المبادئ قائمة في خطوطها الكبرى ضمن التصنيفات اللاحقة .

وحقق دوبري فضلاً عن ذلك تجارب مهمة في مجال التركيب (1866) ، بهدف فهم بنية وأسلوب تشكل النيازك . وأشار إلى أهمية الصخور المنغنيزية سواء في الكرة الأرضية أم في سائر كواكب المنظومة الشمسية . ولاحظ انعدام الصخور ذات الطبقات وعدم وجود الغرانيت في النيازك ، فعرض فكرة « الحثالة الكونية » المتمثلة بالمعادلة ($Si O_2 Mg_2$) في الصخور الأرضية العميقة كما في النيازك وتصور أخيراً أن الأجسام النجمية التي عنها تنشق النيازك لها بنية ذات طبقات كروية وحيدة المركز يتجه ثقلها متصاعداً من السطح نحو المركز حيث لا يوجد الا الحديد المعدني ، الممزوج بالنيكل .

وقدم الفرضية بان الأمر يكون كذلك بالنسبة الى الكرة الأرضية ، بصرف النظر عن المساعدة السطحية الغرانيتية - النائية .

VI - الطرق التجريبية

في القرن التاسع عشر ظهرت أولى المحاولات من أجل انتاج أشباه المعادن والصخور في المختبر ، والعديد من المركبات التي أصبحت الآن جاهزة محققة ، بدأت أولاً في دراسات ترويعت

بخلال تلك الحقبة . وقام بتصنيف الطرق المتنوعة المستعملة كل من ش . فوش C. Fuchs وفوكيه Fouqué ، وميشال ليفي Michel - Lévy ول . بورجوا L. Bourgeois ، على أساس شروط التبلي .

١ - الأسلوب الناشف .

1 - تبلر مع تذيب (تذيب بسيط بدون مذوب ؛ تذيب مع مذوب بدون تفاعل كيميائي ؛ تفاعل كيميائي بين المواد المذابة) .

2 - تبلر تحت تأثير مواد متطايرة (التصاعد البسيط ؛ تفاعل كيميائي بين مواد متطايرة ؛ تفاعل مادة متطايرة مع جسم غير متطاير) .

ب - الأسلوب الرطب .

بدرجة حرارة متدنية أو عالية ، تحت الضغط أو بدون ضغط (التبلر انطلاقاً من تذيب بدون تفاعل كيميائي ؛ تفاعل كيميائي بين سائلين ؛ تفاعل سائل مع جامد) .

نذكر من بين التركيبات الأكثر اثرة للاهتمام : صنع الرخام انطلاقاً من الكالكير [الطيشور أو الحجر الكلسي] (جاس هال 1801 James Hall) ؛ صنع الكوارتز ، والكاربونات والفسفور ، والفليورين ، والفلدسبات اورتوز ، الخ ، بتأثير الماء النقي ، أو المثلث قليلاً بالكاربونات الفلوية تحت ضغط عال (سيارمونت - دوبري ، وفريدل (Sénarmont , Daubrée et Friedel) ، وصنع الكاستريت والروثيل بفعل بحار الماء على الكلورور أو الفيلورور (دوبري Daubrée) ؛ صنع السلفور المعدني بتأثير الهيدروجين الكبريتي (سولفورو) على الكلورور المحفر (دوروشي Durocher) ؛ وصنع الاورتوز ، والأليبت ، والكوارتز ، والزمرد Eméraude ، والزيركون ، بالفعل الكيميائي على الناشف مع وجود مكونات أشباه المعادن (هوتفوي Hautefeuille) ؛ وصنع الياقوت الأحمر (لغل) Rubis (فرمي Frémy وفيل Feil وفرنوي Verneul 1877 - 1891) .

ان الفكرة العامة التي يجب ان ترشد عالم التعدين بخلال عمليات استصناع أشباه المعادن هي تنظيم التجارب انطلاقاً من ملاحظات تجري على الأرض . وقد أوضح سينارمونت بجلاء هذا المبدأ منذ سنة 1851 ، مشيراً إلى « ان كل الظروف التي تركت فيها العملية الطبيعية آثاراً مميزة اكتشفها علم الجيولوجيا ، يجب ان تتواجد في العملية الإصطناعية التي يقوم بها الكيميائي » .

وقد حسمت التجارب الجميلة حول تركيب الصخور النارية ignées التي قام بها فوكيه وميشال ليفي (من 1878 إلى 1881) عدداً من المسائل ، مينة بشكل خاص ، انه من المستحيل عن طريق التذيب الباري ignée الخالص ، اصطناع الصخور الكوارتزية مثل الغرانيت .

VII - المجموعات شبه المعدنية الكبرى

ان المجموعات الكبرى التي تمت في القرن التاسع عشر شكلت بالنسبة الى علماء أشباه المعادن أدوات مفيدة جداً في البحوث ؛ وبالنسبة الى المربين شكلت وسيلة لا مثيل لها من أجل استشارة فضول العبقريات الشابة .

في فرنسا خطر ليوفون Buffon سنة 1745 أن يكون مجموعة من أشباه المعادن « في صيدلية » بستان الملك . وفي سنة 1767 كلف دويتون Daubenton بهذا المرفق وأعطى لقب حارس ودليل ، قبل أن يصبح استاذ علم أشباه المعادن عند انشاء هذا الكرسي سنة 1793 . وفيها بعد وبثأثير من أساتذة متعاقبين هم (دولوميو Dolomieu ، وهاوي Haüy وآ . برونيارت Brongniart ، وAl . دوفرونو Duf-rénoy وديلافوس Delafosse ، ودي كلوازو des Cloiseaux وآ . لacroix A.) ، أصاب هذه المجموعة تطوراً ملحوظاً بفضل التملك أو الهبات ، إما لمجموعات خاصة أو لسلاسل من المجموعات جمعها السياح من علماء الطبيعة . وتطورت مجموعة مدرسة المناجم في باريس التي أسست سنة 1783 ، بخلاف القرن التاسع عشر وأصبحت تحت إدارة شارل فريدل Ch. Friedel ، إحدى اكمل المجموعات وأهمها ، وفي بعض الأحيان شكلت المدن الجامعية مجموعات جيدة من أشباه المعادن مثل مجموعة ليون .

وفي انكلترا جمعت أشباه معادن ، وصخور ، ونضدت في « المتحف البريطاني » الذي أسس في القرن الثامن عشر (راجع المجلد الثاني) ، خاصة بعد سنة 1857 ، عندما عين ستوري ماسكيلين Story - Maskelyne « حافطاً لأشياء المعادن » . وصنفت المجموعة شبه المعدنية سريعاً بين أهم المجموعات في أوروبا . وعندما نقلت الى أبنية « متحف التاريخ الطبيعي (Natural History Museum) التي بنيت بين 1873 و 1880 ، لم تتوقف عن النمو بفضل ضم العديد من سلاسل النماذج الآتية من انكلترا ومن المستعمرات الانكليزية ، تحت ادارة ماسكيلين Maskelyne وفتشر Fletcher ول. ج. سنبر L. J. Spencer الخ . واعطيت مكانة مهمة في هذا المتحف للنيازك . وشكلت المدن الانكليزية الأخرى الجامعية مثل كمبريدج واكسفورد ، وادنبره أيضاً بصورة تدريجية مجموعاتها الغنية .

وفي ألمانيا وخاصة في السكس ، وجدت عدة مجموعات خاصة ، عندما أسست سنة 1765 مدرسة المناجم في فريبغ والتي زودت بمجموعة « Oryktognostique » . واكتسبت هذه المجموعة نمواً ضخماً تحت ادارة ورتر وخلفائه . وكان منشأ مجموعة متحف التاريخ الطبيعي في برلين ، (المؤسس سنة 1809) في الغرفة الملكية لأشياء المعادن والتي أسست سنة 1781 . وخلال القرن التاسع عشر شكلت غالبية المؤسسات الجامعية الألمانية ، وكذلك مدرسة المناجم في برلين (وقبلها مدرسة كلونستال في مقاطعة هارتز) مجموعات مهمة من أشباه المعادن .

وفي بوهيميا حيث بدأ نشاط المؤسسة الزراعية (آغريكولا) ، ساد منذ تلك الحقبة ، بشكل لا مثيل له في مكان آخر اهتمام دائم بمجموعات أشباه المعادن . وتركزت هذه المجموعات بصورة تدريجية في المناحف الإقليمية وفي جامعة براغ وفي مدرسة المناجم في بيريام ، الخ .

وفي بودابست شكلت المجموعة المهمة جداً العائلة الى الأمير لوبكويتز Lobkowitz الاساس في مجموعة المتحف الوطني الهنغاري . وفي النمسا احتوت « الفرقة الامبراطورية للتاريخ الطبيعي » ، المؤسسة منذ منتصف القرن الثامن عشر سلاسل مهمة من أشباه المعادن التي سرعان ما نظمت على حدة تحت ادارة موهس Mohs ، ثم تحت ادارة بلرتش Partsh وج . شرماك Tschermak خاصة ،

وذلك سنة 1851 . وشكلت الجامعات والمدارس التقنية مجموعات مهمة للدراسة .

وفي سويسرا تجدر الإشارة إلى المجموعة شبه المعدنية لدرسة البوليتكنيك الفدرالية في زوريخ ، التي اغتيت بأشياء معادن جبال الألب التي جمعت من قبل د. ف . ويسر D.F. Wissner وكذلك مجموعات متاحف برن وبازل (1821) .

وفي إيطاليا اغتنت المجموعات المهمة والقديمة جداً بالعديد من المجلويات بخلال القرن التاسع عشر ومنها : المعهد شبه المعدني ، ومتحف بارما ومتاحف بولونيا وتورينو (1713) ، وغرفة أشباه المعادن الجيولوجية التطبيقية في روما (1817) .

وفي أسبانيا نذكر مجموعات متاحف العلوم الطبيعية في برشلونة (1882) ومجموعات متاحف مدريد (1770) .

وبين المجموعات الاسكندنافية نذكر المتحف شبه المعدني في كوبنهاغن الذي ضم إليه سنة (1860) متاحف الجامعة ، ومجموعات غنية من متاحف كريستيانا (أوسلو) وستوكهولم ، المتكونة سنة (1811) و (1819) ، والتي غتت فيها بعد وبصورة رئيسية بتأثير من بروغجر W . C. Brögger .

ومن بين المجموعات المتوفرة في روسيا ، تُذكر مجموعات سانت بطرسبرغ ، وهي تقريباً الوحيدة في القرن التاسع عشر ، وبصورة خاصة مجموعة معهد المناجم المؤسس في أواخر القرن الثامن عشر ، ومجموعة أكاديمية العلوم ثم المجموعة الشهيرة الخاصة العائلة إلى نيكولا فون لوتنبيرغ Nikolas Von Leuchtenberg .

وفي الولايات المتحدة سرعان ما تشكلت المجموعات شبه المعدنية بتأثير من علماء سميثونيان انستيتوشن Smithsonian Institution ثم المتحف الوطني في الولايات المتحدة في واشنطن سنة (1846) وهو مركز المسح الجيولوجي في الولايات المتحدة ، وذلك بفضل كل من : س . بنفيلد S . Penfield ، وف . و . كلارك F . W . Clarke ، وو . تاسن W . Tassin ، وج . ب . ميرييل G . P . Meriil وأ . س . دانا E.S. Dana وج . د . دانا J . D. Dana . واغتنى متحف التاريخ الطبيعي في نيويورك المؤسس سنة (1869) بالمجموعة الغنية جداً الخاصة العائلة إلى بيمنت Bement من فيلادلفيا . وفضلاً عن ذلك شكلت عدة جامعات في الولايات المتحدة أيضاً مجموعات مهمة .

وفي كندا ، كما في الولايات المتحدة غنت المجموعات شبه المعدنية بفضل نشاط المرافق الجيولوجية . ونظم المتحف الوطني في أوتاوا المؤسس سنة (1842) مجموعة ممتازة من أشباه المعادن في كندا ، وكذلك فعلت جامعة مونتريال .

وأخيراً في أميركا الجنوبية جمعت مجموعات مهمة تضم أشياء المعادن الأكثر بروزاً للقطاع من العديد من المناجم المعدنية وشبه المعدنية في العالم الجديد ، أما من قبل شخصيات خاصة وأما من قبل أجهزة رسمية كالجامعات والمدارس التقنية خاصة في مكسيكو وفي البرازيل (المتحف الوطني في ريودي جنيرو ، 1818) وفي البيرو (مدرسة المناجم في ليا) .

الفصل الثاني

الجيولوجيا

ان القرن التاسع عشر هو الحقبة لتطور علوم الأرض بشكل قوي . فإلى جانب الجيولوجيا بالذات ، نشأ علم ما قبل التاريخ ، في حين تطورت بشكل ضخم علوم المينارلوجيا أي أشباه المعادن وعلوم وصف الصخور وعلم الإحاثة [هو علم يبحث في أشكال الحياة في العصور الجيولوجية كما تمثلها المتحجرات الحيوانية والنباتية⁽¹⁾ . بحيث أصبحت ميادين علمية مستقلة .

وعبر القرون السابقة كان لبعض الرجال تأثير ملحوظ بمقدار ما كانوا قليلي العدد . وابتداء من القرن التاسع عشر تغير الوضع تماماً ، فنظم التعليم العام وتكاثرت المعاهد ، وزاد عدد الباحثين بسرعة وانتظم العمل الجماعي . وأخذ كل محال علمي يتشعب الى اختصاصات ، ولم يعد أي فرع من صنع رجل واحد . وعلى كل ، ولما كان التخصص غير متقدم كثيراً ، بقي هناك أدمغة عظيمة تسيطر على المواضيع الكبرى ، وتؤسس المدارس وتكتب الموسوعات الكبرى الأولى . وفي حين قدم بناء الأبنية الصالحة للملاحة ، والسكك الحديدية لعلماء الجيولوجيا ، مادة غنية جداً للدرس ، أخذ الاستكشاف العقلاني لثروات باطن الأرض يتطور وينمو . فضلاً عن ذلك سهل الإبحار بواسطة البخار وبناء السكك الحديدية التنقلات وتبادل الأفكار . ان القرن التاسع عشر هو حقبة توسعت فيها البعثات العلمية الكبرى . ولم يقتصر علم الجيولوجيا على أوروبا . بل امتد الى أميركا الشمالية وإلى كل القارات . وهذا التوسع كان هو الأساس في خلق لغة دولية للتعبير عن الأفكار والاحداث ، ولتسمية المراحل المتتالية في التاريخ الشامل للكوكب الأرضي .

وسوف نتغير بشكل ضخم الشروط العامة للبحث في هذا المجال . فحتى ذلك الحين لم يكن

(١) ان تقدم علم اشياء المعادن وعلم الصخور قد دُون في الفصل السابق على يد . ح . اورسل J . Orsel . وولادة علم ما قبل التاريخ البشري سوف يُدرس في فصل لاحق من قبل ر . فيرون J.R . Furon (الفصل 7 ، الكتاب 2 ، القسم 5) اما تطور علم الإحاثة المبني على طبقات القشرة الأرضية فقد احتصر فيها بل ، وأما علم الإحاثة فيها يتعلق باللافقريات فسوف تدرسه الأنة آ . تيري A . Tétry (الفصل 2 ، الكتاب 1 ، القسم 5) . اما علم الإحاثة فيها يخص الفقريات فسوف يُدرس في فصل خاص من قبل ج - بيمتو J . Pivetau (الفصل 2 ، الكتاب 2 ، القسم 5) .

هناك طريقة عقلانية : فقد كانت الأرصاد مشتة ومفككة وكانت التأويلات عفوية كفية . ان القرن التاسع عشر قد صاغ كل المسائل التي كان لها مفهوم أو فكرة . ونشأت طرق عمل أخذت تنمو . وظهرت نظريات متتالية ، نظريات غريبة أحياناً ، ولكنها تستطيع ان تشكل بصورة تدريجية هيكل عقيدة استطاعت - رغم ارتكازها بشكل خاص على ما لبعض الأشخاص من قيمة - ان توجد ، وبالتالي ان تتكون مما يمكن انتقاده وتحسينه بصورة تدريجية . فضلاً عن ذلك دخل ما كان يعتبر - في مجال النظريات والفرضيات - أرثوذكسياً ، ومنوعاً من الناحية العملية ، على النقاش ، انتقل بصورة تدريجية الى مجال التاريخ .

وفي مجال الأحداث ، كان التقدم بخلال القرن التاسع عشر ثباتاً إلى درجة أننا ما نزال الى اليوم نرجع ، وكمثير من الفائدة إلى الملاحظات الصبورة والمفصلة التي وضعها سابقونا .

I - تاريخ الأرض ووضع سلم طبقاتها

ان وضع سلم طبقي يعبر عن تسالي فصول تاريخ الأرض كان أول مسألة يجب على علماء الطبيعة ، في القرن التاسع عشر ، حلها . ولكن حل هذه المسألة لم يكن ليتقدم الا بفضل نهضة علم الاحاث . وقد أكد علماء الطبيعة في القرن الثامن عشر على الطبيعة العضوية للمتحجرات ، وتصوروا وجود انواع زائلة وأعدوا دراسات حول علم الاحاث . وأخذت البحوث حول علم الاحاث المنهجية تتقدم بسرعة يومئذ في مختلف البلدان .

نشأة التحويلية والتجاح المؤقت لنظرية كوفيه Cuvier : - لقد لاحظ لامارك Lamarck ، صديق بوفون Buffon ومكملة ، استاذ علم الحيوانات في المتحف منذ 1793 ، التغيرات في الفروقات التي تفصل الأنواع فيما بينها ، واستنتج ان « النوع » أصعب من ان يعرف ، كما يظن عموماً . ومن جهة أخرى قارن أشكالاً حية بأشكال متحجرة ، ووضع النظرية التحويلية وهو يحاول تفسير تغير الأشكال الحيوانية عبر الأزمنة الجيولوجية بفعل وراثة السمات المكتسبة بتأثير من المحيط ومن نظام واستعمال الأعضاء . وتضمن علم المائيات (هيدرولوجيا) الذي وضعه لامارك سنة 1808 ، الى جانب الآراء الكيفية ، افكاراً ممتازة حول حث المياه الجارية ومفعول الظواهر القائمة . ويجب القول ان معاصري لامارك لم تعجبهم هذه الأفكار الجديدة التي لم يفهموها مفضلين عليها التسبع الأعمى لافكار كوفيه (راجع أيضاً بهذا الموضوع دراسة ج . بيفيتو Piveteau ، القسم 5 ، الكتاب 2 ، الفصل 2) .

كان كوفيه معارضاً باطلاق لفكرة التطور ، وكان مقتنعاً بأنه - بين الحداثين العظميين : الخلق والطوفان - حدثت « ثورات في الكون » تدل على تغيرات النوع الحيواني . كان ثبوتياً من حيث المبدأ ، ولانه لم يكن أيضاً يعرف « أشكالاً وسيطة » تدل على التطور بالانتقال من شكل إلى شكل ، لهذا لم يناقش كتابات لامارك واكتفى بتجاهلها .

كان اتيان جوفروا سانت هيلر Etienne Geoffroy Saint Hilaire (1772 - 1844) صديقاً وزميلاً للامارك ، وكان أيضاً من أنصار التحويلية ، لان دراساته حول الزحافات المتحجرة في منطقة النورماندي الفرنسية قد جرته الى ان يكتب ان الحيوانات الحالية تنحدر « من حيوانات بادت في عالم ما

قبل الطوفان . ولكنه فضل على التغيرات البطيئة التي قال بها لامارك ، التحولات المفاجئة السريعة وهذا ما سمي فيها بعد بالانتقالات .

وهاجم كوفيه بحددة جوفروا سانت هيلر في أكاديمية العلوم سنة 1830 ونالت آراؤه قناعة الجميع . وهكذا تأخرت الفكرة التحولية في فرنسا . ولم تتم العودة إليها الا بعد موت كوفيه وبعد نشر كتاب « أصل الأنواع » لداروين سنة 1859 .

وكردة فعل ضد البلوتونية التي قال بها هوتون Hutton باعتبارها تتلاءم مع نص « خلق العالم » ، عرفت النظرية الكارثية التي قال بها كوفيه نجاحاً واسعاً في بريطانيا ، خصوصاً عند بوكلانده Buchland وسدويك Sedgwick وكونيير Conybeare وموريسون Murchison وجامسون Jam-eson . وظهر نشر كتاب « البقية الطوفانية » لندون (1823) على يد الأب و . بوكلانده استاذ الجيولوجيا في جامعة أوكسفورد ، وكأنه محاولة بائسة من أجل التوفيق بأن واحد بين الاكتشافات الأخيرة الجيولوجية والاحاثية ، ونظريات ورنر وكوفيه ، وحرفية الكتابات المقدسة . ان هذا الارتداد ذا الاستيحاء الديني قد استمر يظهر طيلة قسم كبير من القرن ، معارضاً بشكل خاص وحدة التشكل التي قال بها لييل Lyell وأيضاً نظريات داروين .

بدايات علم الاحاثية الطبقة الارضية : كان لتطور دراسات الاحاثية المنهجية نتائج مهمة في مجال علم طبقات الأرض . فحتى ذلك الحين كان هناك تقسيمان مقبولان : « الأراضي البدائية الأولى » المقومة ويدون متحجرات ، ثم الأراضي « الثانوية » الأفقية وذات المتحجرات .

وعُرف كوفيه وبرونيارت - في كتابها « محاولة حول الجغرافيا المنجمية لجوار باريس » (المنشور ، كمقالة سنة 1808 ثم بشكل مستقل وشكل اكمل سنة 1811) - التشكلات لا من حيث سماتها التحجيرية او الترسبية بل فيما يخص مجمل حيواناتها . وبيناً مثلاً ان حيوانات « الكلس الخشن » تختلف تماماً عن حيوانات الطشور . فهذا الكلس الخشن مغطى بالرمال وبالصلصال (رمال بوشان المستقبلية) التي حملت جفصين مونت مارتر والموصوفة سابقاً من قبل ديماري Desmarest ولامانون Lamanon وكوبي Coupé ، هذا الجفصين الذي يحتوي على عظام فقرات درسها كوفيه .

وفي سنة 1821 نشر الكسندر برونيارت الذي ادخل التقسيمات الاضافية للأراضي الشالفة في كتابه « الموسع الأولي حول علم التعدين » (1807) ، بحثاً مهماً « حول السمات الجيوانية في التشكلات . . . » يثبت مكانته السامية بين المؤسسين لعلم الاحاثية الطبقة . وبين ان الكائنات المتحجرة تختلف تماماً عن الكائنات الحالية بمقدار ما هي أقدم . وأكد برونيارت وجهة نظر وليم سميث التي أصدرها منذ سنة 1799 (راجع المجلد الثاني) والتي نشرها المساح البريطاني تحت عنوان (الطبقات القشرية التي حددت هويتها المتحجرات العضوية ، لندون 1816 ، النظام القشريوي للمتحجرات العضوية ، لندون 1817) ؛ وأوضح انه إذا أعطت قطعتان من الأرض متباعدتان جغرافياً ، نفس المتحجرات ، فبالامكان اعتبارهما من نفس العمر . وقد ركز المؤلف الشهر من خلال امثلة متنوعة على الحكم حول المتحجرات التمييزية ، وهو مبدأ أساسي في علم المتحجرات القشرية .

وفي سنة 1829 بين الجيولوجي الاميركي ، فانوكسم Vanuxem ، بدوره ان العمر النسبي في

أرضٍ ما ، يجب أن يتحدد سبداً لمتحجراتها ، لا سبداً لانحدار طبقاتها .

وفي نفس السطء طرء برونبارت في ءءءله ءول الأرضي الءي ءءكون منها القشرة الأرضية ، ءقسيم ءشكلاء القشرة الأرضية إلى سبع سلاءل هي :

- 1 - الأرضي الأءليزية agalysiens (وهذا يوافق الأرضي النابسية أي الصءخربة الصوانية) ،
- 2 - الأرضي المءميليية Hemilysin (قسم من ءءكوين الأول) ،
- 3 - اليزيمية الابيسية Yzémiens Abyssiques ، (الصءخور الفءمية العليا في عصر ءرياس Trias) ،
- 4 - اليزيمية البيلاجية Yzémiens Pélasgiques (المءوافقة مع العصرين الطباشيري والجوراسي) ،
- 5 - اليزيمية ءالاسية thalassique (العصر المءجري ءالء) ،
- 6 - الصءخور الكليمينية أو الطوفانية ،
- 7 - الميزية أو الغرينية .

أما الصءخور البركانية فقد قسمة من ءهئها إلى ءءئين : قديمة أو أراضٍ ءيفونية مءسولة من أعاصير ، وءديثة أو أراضٍ بيروجينية اءءرائية .

في سنة 1830 قءم ج . ب . أوماليوس ءالوا J . B . d'Omalius d'Halloy - مدرءاً آءر هو :

- 1 - الأرضي البيروءية Pyroides (الصءخور البركانية) ؛
- 2 - الصءخور المءميليية (الصوانية ءقى الفءمية) ؛
- 3 - الصءخور الأمونية ءشاءرية (الأرضي الامونيدية ، من العصر المءجري المءيولوجي الآخر ، من البرمي إلى العصر الطباشيري) ؛
- 4 - الصءخور ءالءية ؛
- 5 - الصءخور الءديثة .

المصوء والأنظمة : - بعء ءءءقم الءي اءرزه علم المءءءرات القشرية ، امكن ءمءمع الطبقات الأرضية ضمن مءاهب أو أنظمة ءمميز بمءءجراتها ، وءءءلف فيها بينها بءءافرات قشرية .

وفي سلسلة العصر الأولي الءي رصء من قبل راصءين عظميين هما الانءكليزيان روءريك مورءشيسون Roderick Murchison وآءم سءءوك Adam Sedgwick اللءءين عرءفا وسميا ، بين 1835 وسنة 1841 القشرات : الكمبرية والسيلورية والءيفونية والبرمية : Silurian Cam- brien و Devonien و Permien . وهذه القشرة الأخيرة ءاءت بعء الطبقة الفءمية ، الءي أوءءء منذ 1822 ، من قبل ءونبيري Conybeare للءلاءة على الأرض الفءمية في انءلءرا .

أما العصر المءجري ءالء فقد قسم إلى ءالءة أنظمة : ءرياس Trias المنسوب إلى ف . فون البرءي F . Von Alberti (1834) ، الجوراسي [نسبة إلى ءبال المءورا في فرنسا] المنسوب إلى الءكسندر برونبارت (1829) ءم الطءشوري الءي عرفه أوماليوس ءالوا منذ 1822 .

وقسم العصر الحجري الثالث سنة 1830 من قبل ديزاي Deshayes الى ثلاثة أنظمة أعطاها ش. لييل Ch. Lyell بعد ذلك بقليل اسم ايسوسين Eocène وميوسين Miocène وبليوسين Pliocène وأضاف العصر الرابع في سنة 1829 من قبل ديناي Desnoyers .

محة علم الاحاث (بالياتولوجي) القشروي أو الطبقاتي أو التضيدي - رأت الحقبة الواقعة بين 1820 - 1860 في كل البلدان ازدهاراً في الأعمال المستوحاة من طرق جديدة في علم الاحاث القشرية . وكانت الأراضي من العصر الأول موضوع بحوث فردية قام بها : دومون Dumont في بلجيكا ، وباراند Barrande في بوهيميا ثم انجيلين Angelin في السويد ثم بيريش Beyrich وجينيتز Geinitz ، ورومر Roemer ، والأخوين ساندبرجر Sandberger ، ول . كونك L. de Koninck في ألمانيا ، أما Vanuxem وإيمونس Emmons ، وجيمس هال James Hall في اميركا . أما الأراضي من العصر الثاني وحيواناتها فقد درست من قبل : الفيكونت دارشياك d'Archiac ، وماثيرون Matheron ، وأليبيد دوريني Alcide Dornigni ، وتيريا Thirria ، وثورمان Thurmann في فرنسا ، وبوكلاند Buckland ، وفيليس Philips ، ومانتل Mantell وفيتون Fitton في انكلترا ، وألبرتي Alberti وجينيتز Geinitz ومانستر Manster ، وكانسند Quenstedt في ألمانيا .

أما مجموعات حيوانات الأرض في العصر الثالث فقد نشرت من قبل : باستروت ، وديزي Deshayes وغراتيلوب Grateloup ، في فرنسا ، ونيت Nyst ، وغاليوتي Galeotti ، في بلجيكا ، وف . ساند برجر في ألمانيا ؛ وبرستويش Prestwich في انكلترا ، وسيسمونا Sismonda وبيلاودي Billardi ، في إيطاليا ، الخ . وحسب المثل الذي قدمه برونيارت ، الكثير من هؤلاء المؤلفين حاول وضع مقارنة أو موارد بين أراضي مختلف البلدان وأراضي الحوض الباري الكلاسيكي .

أما النباتات المتحجرة فلم تنل من الدراسة أقل مما نالته الحيوانات . فعند 1800 ركز بلومنباخ Blumenbach على الفوارق بين الأزهار والحيوانات في مختلف العصور الجيولوجية . ولقيت هذه المبادئ تطبيقاً أولاً سنة 1804 عندما قارن البارون فون شلوتهيم Schlotheim الأشكال الحية والمتحجرات في القسم الأول من كتاب المسمى « Flora der Vorwelt » .

واعتبر ادولف برونيارت ، ابن الكسندر ، كأول مؤسس للتشريح المقارن بين النباتات الحاضرة والمتحجرات . واعتبر كتابه : « مقدمة لتاريخ النباتات المتحجرة » (1828) كشفاً . وهو وإن اعتمد الأفكار « البوئية » و « ثورات العالم » التي قال بها كوفيه Cuvier فقد تصور وجود قانون يحكم كمال الكائنات العضوية ، وهو قانون يرى انتظام الوراثة الجيولوجية داخل الطبقات الكبرى من النباتات . ورسم برونيارت صورة فخمة لأزهار العصر الأولي ادخلها في إطار علم قشرات الأرض (ستراتيفرافيا) فقارن بالتالي بين مختلف الأحواض الفحمية في أوروبا .

واكتسب برنار رينول Renault ، تلميذ برونيارت شهرة علمية بأعماله حول تشريح مقارن للاخشاب الصوانية . وتشكل مجموعته من المقطعات حتى اليوم إحدى ثروات الميزيوم أو المتحف .

وعلى أثرها ذكرت أعمال غرانديوري Grand'Eury وزير Zeiller وسبورنا Saporta وشمبر Schimper ولينييه Lignier في فرنسا ، وأعمال هير Heer في سويسرا وناثورست Nathorst في

السويد وجينيتز Geinitz وغويرت Goeppert وغمبل Gümbl وانغر Unger في ألمانيا ؛ وغيدستون Kidston ووليمسون Williamson في انكلترا ، ودوسون Dawson وليكسوري Lesquereux في اميركا .

الطبقات الجيولوجية ، والمناطق الاحاثية : - في حين نجح بعض الكتاب ، بصعوبة ، في وضع تقسيمات من الدرجة الثانية ، قامت التقسيمات من الدرجة الثالثة في كل بلد دونما أي اهتمام بالتنسيق والترابط ، وارتكزت هذه التقسيمات ، مرة على الطبيعة الليولوجية (علم الحجارة) للأراضي (الصلصال العجيني أو الكلس الخام في الحوض الباري ، وصلصال اوكسفورد في انكلترا) ، ومرة على الحيوانات (طباشير في غريفي Gryphées) . وفي بعض الأحيان اكفى البعض بترقيمتها (الحجارة السيلورية Silurian ، 3.2.1 ، في النروج والسيلورية A حتى H في بوهيميا ، ثم الجورة α ، β في سواب) . واختيرت أيضاً تعابير عملية (مثل بورت لاندنيان وغيرها) .

ان التقسيم الفرعي الى طبقات اقترحه أليسد دوريني في كتابين اساسيين : « محاضرات أولية في علم الاحاث » . « والجيولوجيا الطبقة » (1849) ثم «مدخل الى علم الاحاث القشرية والكونية فيما يتعلق بالحيوانات الرخوية والشعاعية» (1850 - 1852) . وغني عن القول انه تم الاصطدام بمصاعب كبيرة جداً ، فالفجوات بين العصور الكبرى لم تكن تفسر بنفس الطريقة من قبل كل علماء الجيولوجيا ، كما ان الحدود بين الطبقات كانت دقيقة تستعصي على التحديد يومئذ .

وعلى كل اقترح دوريني Orbigny تقسيم الجوراسيك والطباشيري الى 27 طبقة متتالية عنها بنموت نذكر بالمنطقة النموذجية . وقد عدد في كتابه « المدخل » حوالي 20 الف نوع من اللاقربيات المتحجرة وزعمها بين هذه الطبقات . وكان دوريني أميناً لأفكار كوفي فاعتقد ان الحيوانات قد اختلفت في أواخر كل طبقة بكوارث كبرى هي « ثورات الكون » ، وهي ثورات تتطابق في ذهنه مع التمزق الكثير في القشرة الأرضية مما يفسح في المجال أمام حدوث تفاوت في التنضيد القشري بين حدين متاليين من السلسلة الرسوبية . هذا المفهوم عن التفاوت ، سبق إليه لافوازيه وعبر عنه ايلي دي بومونت ، ووسعه دوريني وقد دعي لأن يلعب دوراً رئيسياً في تعريف المذاهب والطبقات .

وجدير بالذكر أن نظرية الخلق المتتالي كانت تحارب محاربة شديدة في تلك الحقبة . كتب كونستان بريفوست سنة 1850 يقول :

« اضطرت الى الاعتقاد ، واستمر في الاعتقاد أنه منذ اللحظة التي توفرت فيها الشروط الضرورية للحياة فوق سطح الأرض ، لم تفك النباتات والحيوانات ، المخلوقة بقدرة لم يعد من المسموح للعلم ان يحددها أو ينكرها ، تعمر سطح الأرض بدون انقطاع ، وتمت ظروف تشبه أساساً الظروف التي ساعدت على انتشارها حتى وقتنا الحاضر . ان المخلوقات الاولى أو الأقدم مرتبطة بشكل وثيق ، ويفضل تنظيم مشترك ، بالمخلوقات التي عايشت الانسان ، الى درجة انه يمكن اعتبار هذه وتسلك كأجزاء من كل غير قابل للقسمه ، مفهومه هو انه مصنوع وحيد لم يستطع الزمن وأي حدث آخر أو كارثة غير مرتقبة ان تقطعه أو تشل تطوره » .

وبعد 9 سنوات نشر شارل داروين كتابه « أصل الأناس ». وكان تأثير هذا الكتاب ضخماً في علم البيولوجيا وفي علم الاحاث وفي علم طبقات الأرض . وتكلم ارشيبالد جيكي Archibald Geikie عن « نوع من الاستغراب واليقظة » اثارتهما لدى علماء الجيولوجيا في تلك الحقبة ، قراءة الفصلين المخصصين « لعدم اكتمال المستندات الجيولوجية » ، ثم « التوارث الجيولوجي بين الكائنات العضوية » . وقد اثبتت البحوث اللاحقة الاستنتاجات الجيولوجية التي قام بها داروين واثبتت تنابع الأناس ضمن تتالي الأراضي الرسوبية .

في سنة 1854 و 1855 بين عالم الاحاث الألماني أليبرت أوبل OPPel . ان مختلف أنواع الامونيت تحتل مستويات ثابتة في جوراسيك ألمانيا وسويسرا وفرنسا وانكلترا وأن توزيعها العامودي يتيح تمييز ثلاث وثلاثين مستوى متتال من الجوراسيك يتميز كل منها بنوع أو أكثر من الامونيت الموجودة دائماً في نفس المنطقة ، في كل بلدان أوروبا التي درسها .

وقد تبع تلاميذه امثوله وهم واجن Waagen ونيومير Neumayr اللذان وضعوا أيضاً سلاسل أخرى تطويرية وأثبتا أهمية المناطق الاحاثية في مجال الستراتيغرافيا أو علم قشرات الأرض . وقد تم تحديد جزئي للحيوانات وفُسر أخيراً بوضوح ، أما بالتطور الموضوعي أو بالمهجرات خلال التجاوزات البحرية للأراضي ، الدالة على بداية طبقة جديدة .

وهكذا تم استخدام الأفكار الصحيحة جزئياً والتي قال بها كوفيه والسيد دوريني وكونستانث بريغوت الذين تنبأوا بتجدد الحيوانات اما عن طريق المهجرات ، كما يقول الأولان أو عن طريق التطور المكاني في نظر الأخير .

وطبقت الطرق الجديدة على مجموعات أخرى . من ذلك ان المناطق ، في غرابوليت من اسكتلندا ، والتي عرّفها لابوارث Lapworth ، قد عثر عليها في السويد ثم في فرنسا ثم في اميركا . وكذلك كان حال المناطق في تريلوبيت من العصر الكامبري الخ .

وبعد هذا أصبح تقدم علم الاحاث الطبقي سريعاً جداً . وقد امكن رؤية ان هذا المظهر الجديد من علم الجيولوجيا كان مختلفاً تماماً عن علم الاحاث الخاص . كتب اميل هوغ Haug يقول :

« إذا سعى علم الاحاث الى إعادة تركيب تسلسل الكائنات فان علم الاحاث القشري يهدف بشكل خاص الى النظر في تطور الحيوانات والنباتات في الزمان وفي المكان » .

نحو سلم طبقي قشري دولي - ان المحاولات الاولى لتقييم تاريخ الأرض الى طبقات تحددها حيوانات ونباتات متحجرة ، قد جمعت من قبل ماير إيمار Mayer - Eymar ، ثم ، في سنة 1873 1874 من قبل اميل رينيهيه E.Renevier استاذ في جامعة لوزان في كتابه المسمى « جدول الأراضي الرسوبية » . وقد تمت مقارنة الآراء المتنوعة في أول مؤتمر دولي للجيولوجيا عقد في باريس سنة 1878 ، فقام موني شلماس Munier - Chalmas وآ . دي لابارانت A. de Lapparent في سنة 1893 بتقديم سلم ستراتيغرافي (طبقي قشري) موحد للعالم اجمع وذلك في مذكرتها حول « مصطلحات الأراضي الرسوبية » . وقد لقي هذا الجهد ترحيباً حاراً ، إذ كان الأكثر بروزاً بعد الجهد الذي بذله

دوريني . ويعدها يستعمل السلم الجديد مباشرة من قبل مصلحة الخارطة الجيولوجية الفرنسية .
وقدم أ . رينفيليه E. Renevier الى مؤتمر زوريخ سنة 1894 « كرونوغرافاً جيولوجياً » (مدونة
جيولوجية) وهي طبعة ثانية من جدول 1874 ، بعد أن أغناه بمسجّلات كثيرة ، وبنص تفسيري
ويعرجع استراتيجيا كوني ، ما يزال يستعمل حتى اليوم . وهكذا كان لا بد من انتظار نهاية القرن
التاسع عشر من أجل امتلاك سلم حقيقي استراتيجي دولي .

وفيه يقسم مجمل تاريخ الأرض إلى خمسة عصور أو أجيال : ما قبل الكمبري ، الأولي ، الثانوي ،
الثالثي ، والرابعي .

وفيا عدا العصر السابق على الكمبري ، الذي أدخله الجيولوجي الكندي وليم لوغان Logan ،
يقسم كل عصر الى حقب أو أنظمة : العصر الأولي وفيه : الكمبري ، السيلوري ، والديفوني
والفحمي والبرمي . العصر الثانوي وفيه : ترياس ، جوراسيك وكريتاسي أو طبشوري ، والثالثي وفيه
النوموليتيكي واليوجيني . والعصر الرابعي وفيه بليستوسين وهولوسين .

وكل حبة تقسم الى طبقات عديدة بنجاول بحري وحيوانات بحرية خاصة تتضمن متحجرات
متميزة . وأخيراً تقسم كل طبقة بذاتها الى مناطق فرعية مقررة سنداً لمتحجرة متميزة .

مدة الأزمنة الجيولوجية : - ان هذا السلم التفسيري ينشأ عن تنالي الترسبات وعن الحيوانات
والنباتات ، ولكنه لا يعطي أية اشارة حول المدة الحقيقية للأزمنة الجيولوجية . وفي بداية القرن كتب
كوفيه وهو يكن أشد الاحترام للنصوص التراثية ، في « خطابه » يقول :

« اعتقد مع السيدين لوك Luc ودولوميو Dolomieu انه يوجد شيء ما مثبت في الجيولوجيا ،
ذلك ان سطح كرتنا الأرضية كان ضحية لثورة كبرى مفاجئة لا يمكن ان تمتد تاريخها إلى أبعد من خمسة
أو ستة آلاف سنة » .

وقد قبل كوفيه بفرضية وجود ثورات أخرى أكثر قلماً إلا انه لم يثبت لها أي عمر .

ان هذا البحث عن العمر الحقيقي للظواهرات الجيولوجية هو موضوع علم الجيوكرونولوجيا
« تسلسل تاريخ الأرض » وهو تعبير ابتكره الأميركي هـ . س . وليامس سنة 1893 . وقام
الجيولوجيون في القرن التاسع عشر بدراسات متنوعة حول هذا الموضوع ترتكز على ظواهرات فلكية ،
وحول سرعة الترسيب وحول سرعة الحث وحول سرعة تطور الكائنات العضوية .

وكانت الحقب الجليدية من العصر الرابع موضوع اهتمام شديد من قبل علماء ما قبل التاريخ .
فقد تم البحث عن أسبابها في تغيير ميل محور الأرض وفي مختلف الظواهرات الفلكية التي أمكن تحديد
مدتها . وقام أحد « الحسابات الأولى » وهو حساب قام به كرول Croll سنة 1875 ، بتحديد مدة
البليستوسين Pleistocène وجعلها مليون سنة ، وهذا الرقم قلما عدل فيها بعد . واستخدم مؤلفون
آخرون مثل ج . بيروش J. Péroche سنة 1877 تقال القطبين ، وهي فكرة استخدمت بصورة دورية
منذ صدورها على يد اليسندرو دغلي اليسندري Allesandro degli Alessandri في القرن الخامس
عشر . وعزاج . ك . جيلبرت G. K. Gilbert تنالي المستويات الطبشورية والصلصالية في كريتاسي

كولوراڊو الى تنالي الاعتدالين ، وقدر مدة هذه الحقبة بعشرين مليون سنة . واستنتج شارل لييل Lyell وهو يقارن التغييرات الحاصلة للحيوان في العصرين الثالث والرابع ، ان التطور خلال البليستوسين لا يتجاوز $\frac{1}{20}$ من التطور الذي حدث منذ بداية الميوسين . وقبل بالعدد الذي قدمه كروول فحدد بداية الميوسين بعشرين مليون سنة ، وحدد كامل مدة العصر الثالثي بشماتين مليون سنة . وحسب اثني عشرة دورة منذ بداية العصر الأول فقدر هذا التاريخ بمدة 240 مليون سنة . ان هذه الأرقام سوف تعدل حتى في القرن العشرين ، لكنها تدل على الأقل على جراءة وعلى وضوح فكر ش . لييل

حملت دراسة الرسوبات الأولية في الغرب الاميركي ، والكوت Walcott ، في سنة 1893 ، على تقدير مدة ترسب 30 سنتم ارتفاع بمعدل 200 سنة مما يعطي 17,500,000 سنة للعصر الاولي ، وسبعة ملايين سنة للعصر الثانوي وثلاثة ملايين سنة للعصر الثالث . هذه الأرقام الأخف بكثير صححت سنة 1897 من قبل غود شيلد Goodchild الذي حدد أساس الاولي بسبع مئة وأربعة ملايين سنة : (704 ملايين) .

ان التبريد التدريجي للكرة الأرضية كان يوثق مقبلاً بدون نقاش . وفي سنة 1893 اعتقد لورد كلفن Lord Kelvin انه يستطيع تحديد الزمن الماضي منذ جمد الكرة الأرضية بين 20 مليون الى أربع مئة مليون سنة . أما علماء الجيولوجيا وقد اعتمدوا على أرقام أعلى بكثير فلم يقبلوا بهذه الاستنتاجات ، ونتج عن ذلك مجادلات طويلة لم تنته الى حل إلا في القرن العشرين .

II - نظريات حول تشكل سلاسل الجبال

نظرية فوهات القنب : - ان القسم الأول من القرن التاسع عشر بقي تحت تأثير مدرستين كبيرتين تأسستا في القرن الثامن عشر : مدرسة فريبرغ Freyberg يضاف إليها نيتونية ورنر ، ومدرسة أدنبره Edimbourg يضاف إليها ملوتونية جسامس هوتن James Hutton (راجع المجلد الثاني) .

وعلى كل حال يَبَيَّن اكتشافات غيتارد Guéttard وديمارست Desmarest أهمية الصخور البركانية ، مما أعطى الحق للملوتونيين ثم ان العديد من تلامذة ورنر تخلوا عن طروحات معلمهم .

كان الكسندر فون هيبولد Humboldt (1769 - 1859) رحالة كبيراً فزار الأميركتين من سنة 1799 الى 1804 - وبصورة خاصة جبال كوردييري دي آند . وكان عالماً نباتياً وجيولوجياً وعالماً بالطقس ، فدرس كل ظواهر هذه البلدان التي لم تكن معروفة تماماً يومئذ وجمع العديد من الملاحظات حول الهزات الأرضية والبراكين وحول بنية اميركا الجنوبية ونشر بهذا الموضوع عدة دراسات مهمة (انظر الفقرة V) .

وبعد ان زار ليوبولد فون بوش Buch (1774 - 1853) بركان فيزوف وجزر الكناري ثم منطقة أوفرنيا Auvergne في فرنسا سنة 1802 ، اكتشف صوابية أفكار غيتار وديمارست وانفصل عن ورنر . وفي أثناء انجازه لنظريته حول فوهات القنب ، والتي أعلن عنها منذ 1809 ، تابع ملاحظاته بخلاف العديد من رحلاته الجيولوجية . في سنة 1816 وصف البراكين في جزر الكناري ، بميزة «فوهة

التقيب « المؤلف » من ركائز في أصلها أفقية ، ثم تنتصب فجأة بالحدث الذي من نتائجه الأخيرة عروق الانفجار الواقع في وسط المدرج . ورصد اتجاهات سلاسل الجبال ثم الأعمار النسبية لمختلف الصخور البركانية فنشر [ليوبولد فون بوش] سنة 1824 دراسات أساسية حول دولوميت جبال التيرول وحول هضاب ألمانيا التي وزعها إلى أربعة أنظمة مفسراً تقبيها .

وفي سنة 1824 أيضاً أعاد كوفيه نشر بحثه حول العظام المتحجرة وحول ثورات الكرة الأرضية مؤكداً أن جبال الألب قد ارتفعت على عدة دفعات انطلاقاً من عصر الفحم . وفي اميركا نشر جامس د . دانا Dana وغيره ملاحظاتهم ونظريات مماثلة .

إيلي دي بومونت Beaumont ونظرية « الشبكة البتاغونية » (أي الخمسة الزوايا) : - ان السيرة العلمية « لليونيس إيلي دي بومونت » بدأت في تلك الحقبة التي كانت فيها نظرية الكوارث التي قال بها كوفيه مدعومة من قبل كل المؤلفين الجيدين حيث ميز ليوبولد فون بوش (وآخرون غيره) « أنظمة الجبال » من ذوات الأعمار المختلفة واقترحوا تفسير « فوهات التقيب » أي فقط الحركات العامودية .

في سنة 1829 قدم ل . إيلي دي بومونت (1798 - 1874) أمام أكاديمية العلوم ، « بحوث حول بعض الثورات في سطح الكرة الأرضية » وكان تعليق برونيارت وآراغو جيداً لصالحه . وأوضح العمر النسبي للتقيب بمفحص يحمل الطبقات المنتصبة . وأكد على ثبوتية اتجاه الطبقات واعتبر ان الاتجاهات المختلفة تتوافق مع سلاسل من أعمار مختلفة رابطاً بالتالي بشكل وثيق بين « أنظمة الجبال » عند ل . فون بوش و « ثورات الكرة » عند كوفيه . فالحركات العامودية « وفوهات التقيب » هي في أصل التضاريس . ان كل ثورة في الكرة قد أحدثت ظهور سلسلة من الجبال ذات اتجاه معين . وقد ميز إيلي دي بومونت في أول الأمر أربعة أنظمة من التقيب (شاطئ الذهب ، البيريني ، جبال الألب الغربية ، وجبال الألب الرئيسية) . ثم رفع هذا العدد الى 9 ثم الى 21 في سنة 1847 . وفي سنة 1852 ، وفي مذكرة له حول أنظمة الجبال (3 مجلدات) قبل أخيراً بوجود 22 نظاماً من الجبال ، تشكل ثلاث شبكات ذات اتجاهات مختلفة ومتقاطعة لكي تشكل شبكة معقدة حيث يسيطر « النواظر الخماسي » .

وارتكز دي بومونت ككل معاصريه على نظرية تقبض الكرة الأرضية . فبين ان هذا التقبض قد احدث تحذبات . وجدد النظرية حول تشكل سلاسل الجبال بفعل الحركات التماسية أو الضغط الجانبي الثاني للرسوبات ، فقدّم عنها التفسير الأول الجدي :

يقول : « ان سلاسل الجبال تتطابق أساساً مع الأقسام من قشرة الأرض التي تضاعل امتدادها الافقي بفعل الاسحاق الاعتراضي ، وتوقفت الأقسام الباقية غير ممسوسة من طرف أو آخر فلم تعد مرتبطة فيما بينها بشكل ثابت . فشكلت شبه فكين في ملزمة ضغط القسم الوسيط فيها » .

وبالعكس من ذلك اختار جامس د . دانا الدفعات الوحيدة الطرف ، المؤثرة بصورة دائمة فوق مناطق محيطية ذات اتجاه نحو القارات ، التي تنضخم بفضل سلاسل جديدة .

في حين تمت العودة الى نظرية الحركات التماسية إنما على أسس محددة ، من قبل البرت هيم

Albert Heim سنة 1878، عرفت نظرية « الشبكة الخمامية » نجاحاً فورياً. وإذا كان هناك بعض المعارضين أمثال أمي بوي Ami Boué، وآدم سدويك A. Sedgwick، وكونستانت بريفوست فقد دعم اجماع علماء الجيولوجيا الأصوليين إيلي دي بومونت حتى وفاته سنة 1874. وبعدها طواها النسيان وتم الانتقال إلى النظرية الرباعية الأوجه.

النظرية الرباعية : طرح صاحب هذه الفرضية الجديدة لوسيان غرين Lowthian Green كمبدأ، أن الكرة التي تنقلص تميل لأن تصبح هرمياً مثلث الزوايا أو رباعي الأوجه (1875). والنظرية الجديدة استنقت فكرتها الأولى في كتاب « أرض وساء » للفيلسوف جان رينود Jean Reynaud واعتمدت بحماس كبير كما عُلِّمت بجدية. وأضاف مارسيل برتران أنه بسبب ثقل الانقلاب عبر العصور الجيولوجية تغير موقع الرباعي الأوجه باستمرار، ونشر برتران سنة 1895 مسقط كل قمة من القمم فوق سطح الكرة الأرضية.

ليل وكونستان بريفوست : نظرية التحين أو التحيينية : - أما الأسباب الميكانيكية للتجعدات والانحناءات فقد قال المؤلفون الأكثر كلاسيكية بنظرية الكوارث التي تؤكد أن التشوهات في القشرة الأرضية وأشكال التربة، تُعزى إلى ظاهرات فجائية من نمط مجهول في العالم الحالي. وقال شارل ليل Lyell وكونستان بريفوست Constant Prévost بنظرية مختلفة تماماً : التشكل الوحيد النوع أو التحين. رأى ليل، بعد هوتن « أن الحاضر هو مفتاح الماضي » (مبادئ الجيولوجيا، 1830 - 1833) ووجد أن لكل حبة جيولوجية نفس الظاهرات المحققة بفعل ذات العوامل وبفعل ذات الأولية. وذهب بريفوست إلى أبعد من هذا فقال أن الأسباب القديمة لم تكن تختلف عن الأسباب الحالية وأنها تحدث مغاير مماثلة لتلك التي نستطيع دراستها في الطبيعة الحاضرة. ورغم بعض المعارضة، تابعت الفكرة طريقها وعُلِّمت في « الميزيوم » 1875 من قبل ستانيسلاس مونيي Meunier.

وذهبوا إلى أبعد من ذلك فافترضوا أنه، لما كان بالإمكان معرفة الأسباب أو المفاعيل، فبالإمكان إعادة استحداث الظاهرات الجيولوجية على مستوى صغير في المختبر. وفي فرنسا قام دوبري وستانيسلاس مونيي بعدة تجارب لم تخل من فائدة. ولكن خلفاءهم على الأقل قد أساءوا استعمال هذه الطرق الناقصة التي كما يقول أ. هوغ قلما تمتلك في أغلب الأحيان غير قيمة تجارياً كفيزياء تسليية.

نظرية الطبقات المائية الزاحلة : - في سنة 1878 عاد الجيولوجي السويسري البرت هيم A. Heim إلى نظرية إيلي دي بومونت حول تشكل سلاسل الجبال بالضغط الثنائي الجانب، فشر وصفاً مفصلاً لجبال الألب « غلاريس »، وتضمن هذا الوصف إثباتات على وجود ثنيات كبيرة مضطجعة ذات الجانب المقلوب المتعدد ووجد لها تفسيراً ميكانيكياً.

ودرس مارسيل برتران Marcel Bertrand (1847 - 1907) جبال الحورا الفرنسية ففرض مبدأ الانحما الذي قال به إيلي دي بومونت وتنبع خطوة خطوة الطبقات متنبأ فكرة « الهياث » أو الوجوه Faciès التي قال بها الجيولوجي السويسري غريسلي (1838). ثم انتقل بعدها إلى برونسا فاستلهم جزئياً أعمال البرت هيم وأعمال غريسلي، حول الحوض الفحيمي في شمال فرنسا، فأكد في

سنة 1884 على عمومية ظاهرات التغطية في كل المناطق الكبرى ذات الانشاءات . وفسر مِرزة تغطية في بوسيت Beausset ، بواسطة ثنية راقدة بفعل زحل عدة كيلومترات (صورة رقم 16) . وفي سنة 1890 قدم مذكرة « حول الارتدادات التي تُنت القشرة الأرضية وحول دور الزحولات الأفقية » . ثم اكمل آراءه حول « ألْب غلاريس » فسر المظاهر المتنوعة للتضاريس بواسطة البرك الضخمة الزاحلة الآتية من بعيد . وتضمنت مذكرته التي صدرت سنة 1899 حول بروفنسا ، كنوأة ، كَلّ المساهيم المستقبلية حول العلاقات بين جبال الألب الدينارية ، وجبال الألب ، وعلاقات « الزحافة المحدلة » والثنيات التي أرقدتها هذه الزحافة ورفقتها تحت ثقلها .

وعرفت هذه النظرية حول البرك الكبرى الزاحلة بعض المعارضين أمثال فورنييه Fournier ، ولكنها أغرت الغالبية العظمى من الجيولوجيين ، وخلال عدة عقود قُسر كل شيء بواسطة هذه النظرية . وكان ألبرت هيم وموريس لوجون Lugeon ، وادوارد سويس E. Suess وغيرهم من أنصار هذه النظرية التي جرّت أصحاب نظرية بنوية أديم الأرض (تكتونيك) لكي يركزوا جهودهم حول سلسلة جبال الألب .

الآن الانكليزي ت . ميلارد ريد T. Mellard Read في كتابه « اصل سلاسل الجبال » (1886 - 1903) قام ضد نظرية التقلص واقترح فكرة الانتشار ، فرأى في التمدد الحراري لاسباه المعادن الموجودة في الطبقات العميقة من باطن الأرض السبب الطبيعي للظواهر الأوروغينية (التشقية) . وهذه الفكرة سوف يبعثها القرن العشرون .

البراكين : في القسم الأول من القرن التاسع عشر شرح الرأي العام تشكل البراكين عن طريق نظرية فوهات القنب التي نادى بها الكسندر فون هومبولد Humboldt وليوبولد فون بوش ، ثم ايلي دي بومونت .

كتب هامبولد يقول : « ليست القضية قضية تراكم الحمم والبقايا ، ان ضغط الكتل الملتهمة نفخ التربة فرفعها . وفي الأخير فقط حصل انفجار فرغ القسم الذروي معطياً في بعض الأحيان شكل قبة انفجارية في وسط الفجوة أو الفوهة » .

وكتب ل . فون بوش من جهته أن بركان فيزوف ظهر سنة 79 « كامل التكوين من باطن الأرض » .



الصورة 16 - مقطع عام لبروفنسا غرب طولون . ثنية بوسيت
(مارسل بورتان ، ضمن النشرة الاجتماعية الجيولوجية في فرنسا ، 1887)

وقال ايلي دي بومونت عن بركان اتنا Etna : « ذات يوم فجر العامل الداخلي الذي يشق

الأرض غالباً (هذا البركان) ثم رفعه . وبعد ذلك أصبح إتناً جبلاً . وهذا الثقب قد حصل فجأة ومرة واحدة » .

ان تشكل البركان يتم هكذا بخلاف مرحلتين في الأولى هناك ثقب يحدث تنوء كبيراً ثم فوهة الانفجار .

وعلى كل بذل ليل وج . بولت سكروب G . Poulet Scrope (الجيولوجيا والبراكين المنطفقة في وسط فرنسا ، لندن 1826) في انكلترا ، وكونستان بريفوست في فرنسا جهوداً ضد هذه الفكرة وعادوا الى فكرة سبالنزي Spallanzani الذي كتب ، منذ نهاية القرن الثامن عشر وبعد دراسات حول جزر ليباري ان البراكين الكبرى تشكلت بتراكم الحمم ورماد الانفجارات المتتالية .

؛ هذا الفصل للنظريات الكبرى حول تشكل الجبال يكشف لنا التأثير الضخم الذي كان للرجال امثال ليوبولد فون بوش وشارل ليل وابلي دي بومونت ومارسيل يتران . ويبر أيضاً هذا الفصل ان بعض النظريات التي تبدو لنا غريبة كانت قد نوقشت بحماس وحفزت على بحوث المتضادين الساعين وراء براهين جديدة .

III - الجيومورفولوجيا (أو علم تشكل الأرض)

اشكال التربة : - لم تكن واقعة ان الاشكال الحالية للتربة هي وليدة التشقق والنحت ، بفعل العوامل الديناميكية الخارجية وبفعل الاشكال الأولية المحدثة بفعل التثني والثقب ، أمراً مقررأ في بداية القرن التاسع عشر . الا انه منذ العام 1774 نشر غيتارد Guettard دراسة « حول انحدار الجبال المحدثة في أيامنا بفعل الامطار الغزيرة أو بفعل زخات المياه وبفعل الأنهار والجداول والبحار » . ثم انه كان له سابقون امثال ريستورو أريزو Ristoro d'Arrezzo (1282) ، وجون ري John Ray وف . جينيريني F . Generni الذين شعروا بالدور الرئيسي الذي تلعبه المياه الجارية في تشكل النموذج . وقام ديماري Desmarest وهوتن وليفير Playfair ولامارك وآخرون أيضاً بتفسير تجوهر الوديان بفعل المياه الصاخبة ، ولكن الرأي الشائع كان مع النظرية الطوفانية التي تعزو هذا الحدث الى مياه الطوفان الكوني الذي انصب في المحيط . في هذه الاثناء كرس ل . اغاسيز L. Agassiz نفسه منذ (1836) لدراسة الحت الجليدي فيين في العديد من الأماكن فوق الكرة الأرضية ، وجود شهادات على حركات الجبال الجليدية القديمة .

ان دور وقوانين الحت قد تمحدث سنة (1841) من قبل الكسندر سوريل A . Surell في دراساته حول سيول الألب الأعلى ، ولكن فيها بعد بكثير فهمت الشروط والظروف البنوية التي تسبق تشكل كل ضرس أرضي . والحدث الذي اشبه به غيتارد منذ (1774) ، ومفاده أن النشاط الدائم للحت ، ان لم يجد ما يعارضه من حركات ابتنائية أو تقببية ، ينتهي بتدمير كامل لكل تنوء او ضرس ، هذا الحدث تأكد سنة (1889) على يد الألماني A . Penck الذي نظر إلى هذا التسطح العام على انه « الحد النهائي للحت » . هذا الشكل النهائي للتربة أطلق عليه الجغرافي الاميركي ولیم موريس دافيس W . M Davis اسم السهوب .

معجمية الجيومورفولوجيا (معجمية علم تشكل الأرض) :- ان جغرافية القرن التاسع عشر كانت يغلب فيها الرياضيات والوصف ، ولكن طرقها تغيرت تدريجياً وتكاملت .

ويذكر إيمانويل مارجوري E . de Margerie (1862 - 1953) جهده لبيان ان « الجغرافيا التي ظلت معصورة لمدة طويلة بالتصوير فقط ثم بوصف سطح الكرة الأرضية ، يتوجب لها لكي تصبح تفسيرية ، ان تستند بصورة واسعة ومتزايدة على النتائج الحاصلة في علم الجيولوجيا لأن الحالة الراهنة للمقارنات لم تكن بكل تأكيد إلا تنمة ونهاية منطوية لتاريخها » .

ان أشكال الأرض ، والمناظر تُشرح هكذا بفضل الجيولوجيا ، فقام إيمانويل مارجوري والجنرال لانوي La Noë بإغناء الجيومورفولوجيا بمفاهيم جديدة وبمعجمية خاصة في كتابها « حول أشكال الأرض » (باريس 1888) . وقد لقي هذا الكتاب استقبلاً وكأنه تحفة في التنظيم والوضوح والدقة . وبين هذا الكتاب بشكل خاص كيف ان السطوح التوبوغرافية الحالية تنبثق عن أشكال مختلفة تماماً ، الأشكال المتعلقة ببنية الأرض ، والسطوح البنوية الأصلية « وذلك تحت تأثير العوامل الطقسية والمياه الجارية بشكل خاص » .

ونشر في ذات السنة أ . مارجوري وآ . هيم A . Heim كتاباً بثلاث لغات : عنوانه « تمزق القشرة الأرضية ، محاولة من أجل التعريف والتصنيف » . وهذا الكتاب حدد لأول مرة التسمية والتصنيف لمختلف العوارض التي يمكن أن تصيب القشرة الأرضية (ثنيات ، انحناءات ، وتشقق) مع ما يقابل كل اسم باللغات الفرنسية والانكليزية والألمانية . وبفضل هذين الكتائين أصبح بإمكان علماء الجيولوجيا ان يصفوا بعد الآن الأشكال التوبوغرافية ، والأعراض الجيولوجية .

IV - الخارطات الجيولوجية

في حين ان الخارطة التوبوغرافية تعبر عن أشكال الأراضي ، تعبر الخارطة الجيولوجية بشكل تسجيلي عن معرفتنا بعمر وطبيعة الصخور . وتدل الألوان المتنوعة على انتشار تشكيلات ، وتدل الاشارات العديدة على نقاط الفرادة (المناجم التحجرية ، والمقالع والمناجم ، الخ . .) . فضلاً عن ذلك هناك ملحوظة تفسيرية تشرح وتكمل دلالات الخارطة .

وقد رأينا في المجلد السابق ان فونتيل وغيتار كانا معجدين في هذه المادة وان عدة خارطات جيولوجية ظهرت في مختلف البلدان في أواخر القرن الثامن عشر .

خارطة فرنسا الجيولوجية : - لقد توقف انجاز الأطلس المعدني لفرنسا ، والذي بدأ به غيتار ولافوازيه بفعل الثورة الفرنسية . ولكن في سنة 1794 ، انشأت « لجنة السلامة العامة » وكالة للمناجم ، كلفتها بجرد الموارد شبه المعدنية في الجمهورية الفرنسية ، وبكوين مجموعات ثم بوصف دروس تعليمية وبالعودة إلى مشروع « الوصف المعدني لفرنسا » .

وبالفعل في سنة 1809 فقط كلف الجيولوجي الشاب من مدينة لياج واسمه ج . ب . أوماليوس دالوا B . d'Omalus d'Halloy ، الذي قام برحلات جيولوجية مثمرة عبر فرنسا - بوضع « خارطة

معدنية للأمبراطورية الفرنسية ». وانتهت هذه الخارطة الجيولوجية الملونة منذ 1813 ولكنها لم تنشر الا بين 1822 و1828.

ومنذ 1823 كُلف ايلي دي بومونت ودوفرنوا Dufrenoy بوضع خارطة جيولوجية جديدة لفرنسا. وبعد أن أطلعا، عبر رحلة دراسية على الأعمال الأخيرة التي قامت بها المدرسة البريطانية، نفذوا تدريجياً هذا المشروع، مستخدمين بشكل خاص المواد التي جمعها سابقها. وكانت هذه الخارطة، مقرونة « بشرح » غير كامل مع الأسف (ثلاثة مجلدات، 1847 - 1873) قد نُفِذت بدقة شديدة بالنسبة إلى عصرها حتى أن الخارطة التي نشرت سنة (1889) من قبل ج. فاسور G. Vasseur ول. كاريز لا تختلف عنها بصورة أساسية. وجاءت مصلحة الخارطة الجيولوجية عقب جهاز مؤقت انشئ بمناصفة « المعرض الدولي » لسنة 1867، واسندت إلى ايلي دي بومونت، وقامت بإنشاء الخارطة المفصلة من قياس 80 ألف درجة، وظهرت ورقاتها الـ 267 بين 1874 و1912. وفي سنة 1889 نشرت خارطة اجمالية كاملة جداً بمقياس 1 على مليون.

فضلاً عن وضع الخارطة نشرت هذه المصلحة مذكرات مهمة تفسيرية أو تكميلية، ولا يمكن الا التذكير - بين الأعمال الأكثر أهمية - بأعمال ديزاي Deshayes، وآ. لا بارانت A de Lappa- rent وج. ف. ف. دولفوس G. Dollfus حول حوض باريس، كما لا يمكن اغفال أعمال أودس دي لونشان Eudes Deslongchamps وآ. بيغوت A. Bigot في النورماندي، وأعمال غوسيلي Gosselet في جبال الأردن، وأعمال باروا Barrois في بريتانيا وفي جبال الأردن، وأعمال بوفنيه Buignier في منطقة الموز وأعمال مرجون Bergeron في الهضبة السوداء، وأعمال ب. ترميه P. Termier في جبل بيلات، وأعمال آ. ميشال ليفي في منطقة مورفان وأعمال م. بول M. Boule في فيلي Velay وأعمال آ. دوبري A. Daubrée في الرين الأسفل، وأعمال ج. ماركو Marcou وج. بومر Boyer، و. كيليان Kilian حول جبال الجورا، وأعمال ف. فونتان Fontannes في حوض نهر الرون، وأعمال ش. لوري Lory، و. كيليان. وب ترميه Termier وآ. هوغ Haug وزورشر Zurcher ول. برتران Bertrand في جبال الألب وأعمال ارشياك Archrac حول كوربيير، وأعمال ليماي Leymerie حول جبال البيرنيه.

الخارطات الجيولوجية في بلدان أوروبا - وظهر نفس النشاط في العديد من بلدان أوروبا. وظهرت أول خارطة جيولوجية مفصلة لانكلترا وبلاد ويلز ولقسم من اسكتلندا على يد وليم سميث الذي بدأ بها بين سنة 1794 و1801 ونشرها سنة 1815 في 20 لونا مقرونة « بمذكرة تفسيرية » قبل ان يضع احدى وعشرين خارطة للمقاطعات البريطانية. وفي سنة 1815 ظهرت خارطة لإيرلندا من صنع ر. غريفيث R. Griffith سرعان ما تبعتها خارطة انكلترا وبلاد ويلز من صنع جورج غريناف G. Greenough (1819). وهناك خارطات أخرى تستحق الذكر منها: خارطة اسكتلندا (1836) وايرلندا (1839)، وبجمل الجزر البريطانية (1878) وأخيراً انكلترا وبلاد ويلز (من صنع آ. جيكي A. Geikie، 1896). ونذكر أخيراً ان بريطانيا أنشأت سنة 1835 بأشراف ه. ت. دي لايش de la Beche « المسح الجيولوجي » وهو أول مصلحة وطنية رسمية للمخارطة الجيولوجية.

وتدين ألمانيا الى ل . فون بوش Buch بخارطتها الجيولوجية الأولى الشاملة (41 ورقة ، 1826 - 1832) التي استكملت وصححت بالعديد من الخارطات الجزئية وبخارطات اجمالية نشرت سنة 1869 وسنة 1897 (بمقياس 1 على 500000 على يد ر . ليسيوس R . Lepsius . نذكر خارطة الشمال من هارز على يد أ . بيريش Beyrich (1851) التي بدت وكأنها الخارطة الأولى الجيولوجية المطبوعة بالألوان

وبصورة تدريجية ويفضل المصالح المتخصصة المنشأة تدريجياً من قبل غالبية الحكومات ، في انكلترا (1835) والنمسا وهنغاريا (1849) ، ويفضل روسيا ورومانيا (1882) تمت الخارطات الجيولوجية لكل بلدان أوروبا ، وأمكن تقديم المجموعة الكاملة في المعرض الدولي في باريس سنة 1900 . وكان ذلك بشكل خاص في بلجيكا (1853) ، وفي البلدان المنخفضة (1867) ، وسويسرا (1853 و1894) ، وإيطاليا (1841 و1881) وأسبانيا والبرتغال (1864) والنرويج (1865 - 1879) ، وروسيا (1841 ، 1845 ، 1859) .

ان المحاولات الأولى ، المبكرة إذاً ، من أجل تجميع هذه العناصر المتناثرة شكلت « الخارطة الجيولوجية لأوروبا » من صنع مورشيسون Murchison وج . نيكول Nicol J . (4 أوراق ، 1856) وخارطة المساح البلجيكي اندريه دومون A . Dumont ، التي نشرت على أساس معدل 1 على 300000 (4 ورقات ، باريس ، 1855 - 1857) . وقرر المؤتمر الجيولوجي الدولي في بولونيا (1881) اقامة خارطة دولية لأوروبا بالتعاون بين كل المصالح ذات الصلاحية . ورغم الصعوبة الكامنة في مثل هذه الصيغة ، صدرت هذه الخارطة في 49 ورقة بمقياس 1 على 500000 في برلين بين 1894 و1913 .

الخارطة الجيولوجية للعالم :- ان فكرة الخارطة الجيولوجية للعالم كانت في الجو ، ولكن توجب انتظار خارطات العديد من القارات ثم تشكيل منظمة دولية بطيئة جداً . ومن أجل استكمال النتائج الحاصلة في أوروبا وفي أميركا اجريت أعمال استكشافية في بلدان مختلفة من قبل جيولوجيين من أوروبا الغربية . وتحقق بالتالي انجاز ضخم ظهر - رغم كونه مستوحى في أغلب الأحيان من اهتمامات توسع استعماري - كمرحلة أولى من مراحل «المساعدة التقنية» . وعلى سبيل المثال نذكر بعض أعمال فرنسية من هذا النوع : محاولة وصف جيولوجي للجزائر من قبل أ - بيرون A . Péron (1883) ، والتفسير للخارطة الجيولوجية المؤقتة للجزائر من قبل أ . بومل A . Pomel (1890) ؛ ثم تلته أول خارطة اجمالية لتونس من قبل ف . أوبرت F . Aubert (1892) واكتشاف الفوسفات من قبل ف . توماس Ph . Thomas ؛ ثم أعمال آ . بومل وج . رولان G . Rolland حول الصحراء ؛ ثم أعمال بارات Barrat في افريقيا الاستوائية ودراسات آ . غودري A . Gaudry حول جيولوجيا اليونان وقبرص .

وساهم الجيولوجيون الانكليز من جهتهم بنشاط في المسح الجيولوجي لمختلف أقاليم الامبراطورية الواسعة . وفي ما عدا كندا التي وضعت خارطتها الجيولوجية من قبل و - ي - لوغان W . E . Logan (1865 ، 1869) ، كان أستراليا ونيوزيلندا الجديدة ، وأفريقيا الجنوبية ، والهند الخ . قد

استكشفت بذات الوقت الذي وضعت فيه خارطت جيوولوجية لهذه البلدان المختلفة ولبعض أقاليمها .

وسوف تقدم ايضا حات ، في مكان آخر ، حول الخارطت الجيوولوجية الاميركية . نذكر أيضاً الخارطت الجيوولوجية اليابانية الأولى (الجزئية ، 1877 ، 1882 ؛ والاجالية ، 1900) والاطلس الجيوولوجي للصين الشمالية (1855) .

ان هذه الايضاحات رغم أنها مجزأة ، تدل بوضوح على ما كان عليه أول استكشاف للعالم ، استكشاف ، وان كان غير مكتمل على الاطلاق ، الا انه قدم على كل حال معلومات مفيدة عن مناطق كانت حتى ذلك الحين مجهولة بصورة كاملة .

ولكن قبل هذه الحقبة بالذات ، حقبة الاستكشافات الناشطة ، كان أمي بوي Ami Boué قد باشر باول توليف (تركيب) في بحث في الخارطة الجيوولوجية للكرة الأرضية ، (باريس 1845 ، ورقة واحدة ومذكرة واحدة) . ان هذه المحاولة قد اتبعت بالخارطة الشهيرة « لجيوولوجية الأرض » بيد جول ماركو Marcou (8 ورقات بمقياس 1/23000000) وظهرت منها طبعتان (زوريخ ، 1861 ، وفيينا ، 1873) وكذلك شرح لها (1875) . وأخيراً صدر « الاطلس الجيوولوجي » لهرمان برغوس H. Berghaus (غوتا ، 1892) ، القسم الأول من « الاطلس الطبيعي » (طبعة ثالثة) الذي أعطى الخارطت الجيوولوجية للقرات الخمس بمقياس موحد 80,000,000 .

٧ - الجيولوجيا في اميركا

اميركا الشمالية : - ان احد الأعمال الأولى التي نشرت حول جيولوجية اميركا الشمالية هو من صنع غيتار Guettard الذي قارن في سنة 1752 ، وسنداً لعينات من الصخور ومن المتحجرات التي تلقاها ، بين كندا وسويسرا ، ووضع خارطة جيولوجية تمتد من فلوريدا الى الدرجة 60 من خط العرض الشمالي .

ونشر أول جيولوجي وعالم احاثي اميركي ، توماس جيفرسون Th. Jefferson ، الرئيس الثالث للولايات المتحدة ، أول مذكرة له عن الففريات المتحجرة في « الجمعية الفلسفية الاميركية للمعاملات » في سنة 1797 . ونشر وليم ماكلور Maclure ، تلميذ ورنر Werner ، سنة 1809 ، ملاحظات وخارطة جيولوجية ، في حين حرراً . ايتون Eaton أول دراسة حول الجيوولوجية القشرية أو الطبقيّة ، لولايات الشمال (1818) كما نشر « كتاب الجيولوجيا » مقروناً بخارطة ملونة (1830) .

في حين اخذت تنظم المرافق الجيوولوجية الرسمية ، التي تأسس اولها سنة 1830 في ولاية ماساشوسس (ان انشاء هذه المرافق أو المصالح أتاح انجاز الخارطت الجيوولوجية الاكثر تفصيلاً في مختلف الدول . وأولى هذه الخرائط ، هي خارطة ولاية نيويورك ، ونشرت سنة 1842 . ونشرت خارطت لكندا وللمناطق المجاورة سنة 1865 - 1866 من قبل و- ألوغان بفضل مصلحة « المسح الجيولوجي » المؤسسة سنة 1842 . نذكر أيضاً انشاء المصلحة الجيولوجية المركزية في الولايات المتحدة U.S.Geo - Survey ، سنة 1879 وانشاء « المعهد الجيولوجي في المكسيك سنة 1891 » اعاد

أ. هيتشكوك Hitchcock « الجيولوجيا النظرية » للمؤلف لابيئ La Beche (1837) ونشر
الجيولوجيا الأولية» (1841) التي طبعت منها ثلاثون طبعة بخلاف عشرين سنة . وزيادة على الملاحظات
حول الشواطئ الصخرية الصدفية (1842)، نشر ج. د. دانا Dana موجزاً في الجيولوجيا (الكتاب
المدرسي للجيولوجيا، 1863) الذي خلف الموجز المصور الذي وضعه أ. امونس Emmons (1855)،
وظل الأول كلاسيكياً قرابة أربعين سنة . نذكر أيضاً أنه في سنة 1847 ظهر أول مجلد من ثمانية
مجلدات من كتاب « علم الأحاث في نيويورك » للمؤلف جامس هال ، J. Hall ، وهو كتاب مهم جداً
خاصة فيما يتعلق باللافقرات .

يجب ان يضاف الى هذه الأسماء اسماء الاحاثيين و . ش . مارش O. C. Marsh ثم
ج . س . نيوبري J. S. Newberry وأ . د . كوب E. D. Cope واسماء الاحاثيين النباتين
ل . نيكوري Lesquereux و ج . و . داوسن Dawson و ج . س . نيوبري Newberry .

وتستحق بعض مواضيع المناقشات الخاصة بالجيولوجيا الاميركية ان تذكر . من هذه المواضيع
الأولى الموضوع المتعلق بآثار الخطوات المكتشفة في الصلصال وفي الدلغام الأحمر في ولاية كونكتيكت في
سنة 1845 ميز هيتشكوك منها تسعة وأربعين نوعاً منها اثنان وثلاثون تعزى للطيور . في سنة 1860 اكد
ر . فيلد R. Field انها آثار خطوات زحافات ، الأمر الذي تأكد في سنة 1863 عند اكتشاف أول هيكل
عظمي للدبناصور .

وهناك موضوع آخر للنقاش هو مستويات الأراضي التي تكثر فيها المتحجرات السدقة على
العصر السيلوري او التاكوني ، وهذه المستويات لاحظها أ . أمونس في ولاية ماساشوستس سنة 1841 ،
ولكن وجودها لم يقبل إلا بعد اكتشاف نفس المستويات في انكلترا حيث أطلق عليها اسم الكمبري .
وبين 1872 و 1897 نوقشت طويلاً المسائل المسماة « لارامية » Laramiens وقد طرحها الفصل بين
الطباشيرية والعصر الثالثي . وبينت دراسة حيوانات الثدييات في مراسب البحيرات ان العصور
الجيولوجية الكبرى ليست مفصولة بالضرورة فيما بينها بتفاوت واختلاف . ونذكر ان دراسة الهضاب
العليا في أوتاه Utah حملت س . ي . دوتن Dutton إلى وضع نظريته حول التوازن الجاذبي الكثافي»
(1889) وهي نظرية سبق أن رسم خطوطها ج . ب . آري G.B. Airy وبسرات Pratt في
سنة 1860 . وهذه النظرية تضع توازناً في الوزن وفي الضغط في كل القشرة الأرضية ، مع تصحيح في
المنطقة العميقة بحسب ما إذا كانت القضاة المجاورة خفيفة نوعاً ما .

من ذلك انه بخلاف القرن التاسع عشر ، ساهمت الجيولوجيا الاميركية الفتيه بشكل واسع في
تطور الجيولوجيا العامة ، وأكثر من ذلك لقد ارتبطت بالجيولوجيا الأوروبية أكثر مما سوف تصبح عليه في
القرن العشرين ، وذلك حين انهم الجيولوجيون في العالم الجديد الى قصر بحثهم على قارتهم بالذات .
ان هذا التفكير يمكن أن يطبق أيضاً على الجيولوجيين من أوروبا وآسيا الذين قلما عرفوا اميركا .

اميركا الجنوبية : - ان الخطوط الكبرى للجيولوجيا في اميركا الجنوبية قد تحققت أيضاً في القرن
التاسع عشر

نذكر في البداية الاكتشافات العديدة للعظام المتحجرة ، التي حدثت بخلال القرن السادس عشر وحتى القرن التاسع عشر في مختلف مناطق هذه القارة ، وهي اكتشافات بعث تأويلات كيفية نوعاً ما ، الى أن أتاح تقدم علم الاحاث في أواخر القرن التاسع عشر اجراء دراسة معمقة . (يراجع في هذا الموضوع بحث ج . بيفيتو Piveteau . J . القسم 5 ، الكتاب 2 ، الفصل 2) . ولعبت البعثات العلمية الكبرى المتعددة دوراً عظيماً في الاستكشاف الجيولوجي في اميركا الجنوبية . انطلق همبولد Humboldt برفقة بونبلان Bonpland سنة 1799 فزار المكسيك وكوبا وفنزويلا وكولومبيا وصعد إلى قمة جبل شمبورازو (6072 م) وهو أحد اجمل براكين خط الاستواء ، وعاد سنة 1804 وحرر « رحلة إلى المناطق الاعتدالية في العالم الجديد » (سنة أقسام 1805 - 1828) .

ويجب ذكر عدة دراسات أخرى لميول : وضع صورة لجيولوجيا اميركا الجنوبية « (جورنال دي فيزيك Journal de Physique 1801) » بحث في معارف طبقات الأرض (جيونوسيك) حول مكائن الصخور في نصف الكرة الأرضية « (1826) ، مقدمة للتركيب الكبير الذي نشره بعد 1847 تحت عنوان « كوسموس » (الكون) .

ومن سنة 1826 الى سنة 1834 قام السيد دوريني Orbigny برحلة الى بوليفيا وإلى باتاغونيا فدرس العصر الأولي في جبال الاندس وبعض المتحجرات الكلسية في الشيلي . وبذات الوقت كانت جولة السفينة ببغل Beagle حول العالم ، مع شارل داروين Ch . Darwin على متنها الذي زار شواطئ الشيلي واكتشف « المتحجرات الحية في جزر غالاباغوس » .

ومن سنة 1857 إلى سنة 1859 سافر الاخوان غرانديدييه Grandidier من البيرو الى الشيلي مروراً بالارجنتين والبرازيل واجتارا جبال كورديير دي اندس وجما مجموعات مهمة من اشباه المعادن ومن الصخور . وفيها بعد ، في سنة 1882 شارك الجيولوجي هيات Hyatt في الرحلة الى كلاب هورن ثم في سنة 1885 حتى سنة 1900 قام الجيولوجي الألماني هـستيفن H . Steffen باستكشاف جبال الاندس الجنوبية .

إلى جانب هذه الرحلات الاستكشافية الكبرى قدمت بحوث محلية عديدة أيضاً عناصر مهمة حول التعرف على القارة . فعدا عن البراكين ، جذبت نقاط عدة انتباه الجيولوجيين : الحيوانات البحرية الاولى والثانوية ، الطبقات الفحمية في بروموترياس ، ثم الحيوانات من الثدييات الثالثة والرابعة . ثم أزهار غلوسوترياس التي اكتشفت سنة 1869 . وبصورة تدريجية قدمت مناجم الفحم في البرازيل والارجنتين أنواعاً من الزهور الغريبة حيث اكتشف فيها ج . بوبندندر Bodenbender و ر . زيلر Zeiller (1895 - 1896) وجود أجناس أوروية وأجناس « غوندوانية » بأن معاً . وكان أول هجوم ، غير إرادي ، ضد وجود « غوندواني » بالذات التي ابتكرها سويس Suess سنة 1888 . نذكر أخيراً اكتشافات الثدييات المتحجرة التي قام بدراستها الاحاثيان الارجنتينيان ف . ك . أميخينو F . C . Ameghino سنة 1886 .

إن الأعمال الجامعة أخذت تنتشر بصورة تدريجية مثل أعمال هارت C . F . Hartt حول الجيولوجيا والجغرافيا في البرازيل سنة 1870 . وأعمال الدكتور كريغو Crévaux وش . فيلان Vélain

حول غويانا الفرنسية، 1866. ونذكر أيضاً أعمال ت. ولف T. Wolf في الاكوادور، ثم في البرازيل، وأعمال ف. كاتزر F. Katzer (حوالي سنة 1840) وأعمال ه. غورسيكس H. Gorceix مؤسس مدرسة المناجم في أورو برتو سنة 1876، وأعمال أوسيبو بولودي اوليفيرا Eusebio Paulo de Oliveira، منشئ المصلحة الجيولوجية الوطنية. ونذكر أيضاً العمل الاستكشافي المهم لدراسات التربة الذي قام به في أواخر القرن الجيولوجيون والمهندسون الذين عملوا في مشروع قناة باناما وحفرها.

وكانت الخارطة الجيولوجية الأولى هي من غير شك خارطة المنطقة النجمية في باسكو في البيرو والتي نشرت من قبل م. دي ريفيرو M. de Rivero (1827).

ويمكن ان نذكر فيما بعد الخارطة الجيولوجية لجنوب انطوكيا (كولومبيا) على يد ك. ديجنهارد Degenhardt (1839)، والخارطة الجيولوجية والمعدنية للشيلي على يد انيباس دوميكو Ignace Domeyko (1846) وخارطات المناطق النجمية لمتاس جيراس Menas Geraes في البرازيل من قبل كلوسن Claussen وبيسي Pissis (1841 - 1848) وخارطة بوليفيا والمناطق المجاورة بقلم دايفد فوربس D. Forbes (1861) وخارطة جمهورية الأرجنتين بيدج فالانتين J. Valentin «في القاموس الجيوجرافي الأرجنتيني» بقلم ف. لاتزينا Latzina (1897) وذلك بعد خارطة البرازيل بيدج و. آ. ديري O. A. Derby سنة 1884.

وظهرت أول خارطة إجمالية لقارة اميركا الجنوبية سنة 1842 على يد آ. دوربيني وقد نشرها بعد نشره عدة خارطات محلية اقليمية. والخارطة الثانية هي التي وضعها ج. ستينمان Steinmann ونشرت في الأطلس الفيزيائي لهرمن برغوس Hermann Berghaus سنة 1892.

VI - انتشار المعارف

تعليم الجيولوجيا : - حتى أواخر القرن الثامن عشر لم تكن علوم الأرض، الا نادراً موضوع تعليم منظم. ولكن النجاح الكبير الذي لاقته المحاضرات التي ألقاها ورنز في أكاديمية المناجم في فريبيرغ ابتداءً من سنة 1775، ثم انتشار التطبيقات العملية للجيولوجيا، حلت مختلف الدول على انشاء مدارس المناجم وكذلك ادخال علوم الأرض في برامج بعض الجامعات أو المعاهد العلمية المتنوعة.

من ذلك انه في بداية القرن التاسع عشر كانت الجيولوجيا تعلم في فرنسا في المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي - الذي حل محل (منذ 1793) «بستان الملك القديم». وقد تمتع التحف بمكانة محترمة جداً يعود الفضل فيها الى نوعية جهازه التعليمي (امثال كوفيه، ولامارك، وجوفرواسانت هيلر، وفوجاس دي سانتفون Faujas Saint Fond السخ) - على منبر التاريخ الطبيعي في كوليج دي فرانس - الذي اسند الى دويتون Daubenton ثم الى كوفيه Cuvier، ثم اقترن في سنة 1837 بانشاء تعليم «التاريخ الطبيعي للأجسام غير العضوية». وقد أسند هذا التعليم الى إيلي دي بومونت. - وأخيراً عملت الجيولوجيا في مدرسة المناجم التي اسست سنة 1778 لتأمين المهندسين

اللازمين لجهاز المناجم ، وقد تعرضت هذه المدرسة لعدة اصلاحات قبل ان تنتهي في سنة 1816 الى بنية مستقرة . وفيها بعد امتد تعليم علم الأرض الى كليات العلوم في حين ان روح هذا العلم اتبعت حتى تطور العلوم .

لا شك انه في آخر القرن كتب و. كيليان الاستاذ في جامعة غرينوبل يومئذ يقول : « اننا نشاهد تعداداً بادخاً لطبقات المتحجرات وأسمائها التي يبدو تعدادها وجدولتها هما الهدف الأسمى الذي يتحدى فضول المستمعين . ان عدم جدواها الظاهر يصدم التهيؤات ويتعب العزائم » .

ولكن وبصورة تدريجية نشأ هيكل لعقيدة حية عرف بعض رؤساء المدارس كيف يعرضونه بشكل يشوق سامعهم . وبعدها لم يعد الأمر مجرد نزهة حزينة ضمن مقبرة كبيرة ، بل أصبح بعثاً للعلوم القديمة الحية وحياتها على يد الجيولوجيين في كل المجالات .

وفي بداية القرن التاسع عشر قلما اسند تعليم علوم الأرض في بريطانيا الا الى جامعتي اوكسفورد وكمبريدج - حيث تثبتت، طيلة سنواتٍ طوال الشخصية القوية لكل من بوكلاند Buckland وسدويك Sedgwick - وفي جامعة أدنبره - في بادئ الأمر على منابر التاريخ الطبيعي والفلسفة الطبيعية والتي أركلت في بداية القرن إلى روبرت جاسمسون R. Jameson وجون بليفاير Playfair، ثم على منبر خاص انشئ سنة 1870 من قبل سير أ. جيكي A. Geikie . الا ان دافي Davy خصص مكاناً لعلوم الأرض في محاضراته الأولى في المعهد الملكي المؤسس سنة 1799 في حين اسندت كلية الملك في لندن المنشأة حديثاً ، إلى شارل لييل Lyell مهمة احداثات تعليم للجيولوجيا . وبخلال القرن امتد هذا التعليم الى جامعات أخرى متعددة وإلى مؤسسات علمية أو تقنية ، وبدرجة أولى إلى مدرسة المناجم التي أسست سنة 1851 .

في حين ان تطوراً مماثلاً قد ظهر في غالبية بلدان أوروبا ، عرفت اميركا أيضاً نمو تعليم علوم الأرض . وكانت «ريال سميناريو ميناريا » في مكسيكو (1792 - 1811) أول مدرسة في العالم الجديد متخصصة في فن المناجم . وفي الولايات المتحدة تأسس تعليم الجيولوجيا سنة 1804 ، في جامعة يال ، من قبل بنجامين سيليمان B. Silliman الذي أصبح جيولوجياً ممتازاً ، وأسس «أميركان جورنال أوف ساينس » American Journal of Science (1818) . أما جيمس دوايت دانا (1813 - 1895) فبعد أن كان مساعداً لسليلمان ، أصبح أستاذ التاريخ الطبيعي ثم استاذ الجيولوجيا وعلم المعادن (1864) . وكان لتعليمه أثر ضخم ودائم . وأُنشئت منابر مماثلة بصورة تدريجية في الجامعات الأخرى ، مما أتاح في العاجل أمام الولايات المتحدة ان تحتل مكانة عترة في مجال البحث الجيولوجي .

الجمعيات الوطنية : - ان تقدم المعارف قد سرّع بفضل الجمعيات الجيولوجية التي انشئت بخلال القرن والتي نظمت عدة اجتماعات ومناقشات حول التربة ونشرت مستندات مهمة . وأقدم هذه الجمعيات هي جمعية لندن الجيولوجية التي انشئت سنة 1807 . والجمعية الثانية كانت الجمعية الاميركية الجيولوجية ، التي أسست في « يال » سنة 1819 ، أيام رئاسة ماكلور Maclure . وحُلّت هذه الجمعية سنة 1829 وأعيد انشاؤها سنة 1888 أيام رئاسة جاسم هل J. Hall . واتخذت سنة 1889 اسم الجمعية الجيولوجية الاميركية ونشرت دورية ابتداء من سنة 1890 . وكانت الجمعية الثالثة من حيث تاريخ الانشاء « الجمعية الجيولوجية الفرنسية » التي أسست سنة 1830 والتي أُناحت نشراتها المهمة تتبع تقدم

الجولوجيا الفرنسية ، نذكر أيضاً انشاء « الجمعية الجيولوجية الألمانية » في برلين سنة 1848 وانشاء « الجمعية الجيولوجية الإيطالية » في بولونيا الإيطالية سنة 1881 .

الكتب : متوسطات وموسوعات : - وكان للتعليم الشفوي والمناقشات العامة تنمية طبيعية في الكتب .

وقد شاهد القرن التاسع عشر صدور الكتب الكبرى الأولى في علم الجيولوجيا . في فرنسا صدر كتاب الجيوجنوزيا أو علم طبقات الأرض للمؤلف أوبويسون دي فوازان Aubuisson de Voisins (1819) وبقي هذا الكتاب كلاسيكياً لمدة طويلة مع كتب موجزة لكل من ج . لا ميري Méthérie وبروشانت دي فيليه Brochant de Villiers . واستبدل كتاب الجيوجنوزيا بكتاب مبادئ الاحاث والجيولوجيا ... (1849 - 1852) لالسيد دوريني ، ثم بالكتب التعليمية التي وضعها البرت غودري A. Gaudry الذي خلف من 1871 الى 1903 ، دوريني في كرسي الاحاث في الميزيوم . وتضمنت كتب الإحاث وعلم الاصداف الذي وضعه ب . فيشر Fischer سنة 1887 وكتاب الاحاث ل ف . برنار F. Bernard سنة 1895 فصلاً ممتازة حول علم البيئة . ونشر أيضاً الى الكتب الموسعة المهمة جداً التي وضعها البرت دي لاباران Lapparent ، استاذ في المعهد الكاثوليكي في باريس بعنوان : الجيولوجيا (1883) ، المينيرالوجيا أو علم أشباه المعادن (1884) ، وكتاب الجغرافيا الفيزيائية (1896) ، ثم مبادئ في علم المتحجرات النباتية (باليوبونتيك) ل ر . زيلر (R. Zeiller) (1900) .

ورغم أهميتها . فلا نستطيع الا الإشارة الى : الوسيط الجيولوجي ل . هـ . دي لايش La Beche (لندن 1831) وإلى مبادئ في الجيولوجيا (3 مجلدات لندن 1831 - 1833) من ليل وكذلك الكتب المتنوعة التي نشرها ج . برستويش Prestwich وارشيالد جيكي Gerkie في بريطانيا ، وهرمن كردنو H. C. edner في ألمانيا وملكيورنومير M. Neumayer في النمسا ، وكلها كتب عالية القيمة ، أعيد طبعها عدة مرات وتدل على تقدم مهم محقق في مجال الجيولوجيا في العديد من البلدان .

المؤتمرات الدولية - عقد المؤتمر الأول الدولي للجيولوجيا في باريس سنة 1878 . ومنذ ذلك الحين ، تشكلت هذه الاجتماعات كل أربع سنوات ميدنياً . وخارج هذه الجلسات العملية وخارج الاتصالات اثناءها قامت رحلات استكشافية كبرى جيولوجية بهذه المناسبة في البلد المنظم . وهكذا في نهاية القرن التاسع عشر أصبحت طرق التعليم والنشر المهمة راسخة في مجال علوم الأرض .



سطح الأرض وأوجهها: - ان الحدث الأكثر أهمية في أواخر القرن كان نشر المؤلف الضخم للجيولوجي النمساوي ادوار سويس E. Suess (1831 - 1914) ، وكان استاذاً في جامعة فيينا وعنوان الكتاب : (وجه الأرض la Face de la Terre) . وقد ظهرت مجلداته الأربعة بين 1883 و 1906 . وتضمن هذا الكتاب كل المعارف الجيولوجية في القرن التاسع عشر ومنها : تمزق القشرة الأرضية ، الخطوط الموجهة في النظام الأليبي ، البحر المتوسط الكبير (تيتيس Thétys) ، الصحراء ، غوندوانا ، اميركا ، تاريخ المحيطات ، التاييد ، توريد وديناريد ، العلاقات والبنية في جبال

الآلب والحملايا . الانخفاضات الكبرى الافريقية ، كورديري اندس ، نظرات حول تدوينات علم الاحاث الاحيائية (باليوبوجيو غرافيا Paléobio - géo - graphie) .

هذا المركب الواسع الذي يطرح أسس بنية العالم ترجم الى الفرنسية (في سبعة اقسام ، بين 1897 و 1918) من قبل أ . دي مارجيري Margerie ومعاونيه الذين أغنوا النص الاساسي بملاحظات وشروحات في الهامش مفيدة والحقوا به ملحقاتاً تصويرياً . وقد أحدث الاستقبال الطافر لهذا الكتاب « وجه الأرض » هزة فقال عنه مارسيل برتران Bertrand في مقدمة الطبعة الفرنسية :

« من الواجب معرفة الانتظار والصبر ان انشاء أي علم ، كخلق العالم ، يتطلب اكثر من يوم . ولكن خلفاءنا سوف يكتبون تاريخ علومنا ، وسيقولون ، وأنا على يقين من هذا ، ان كتاب م . سويس Suess يدل في هذا التاريخ على نهاية اليوم الأول وهو يوم تجل في النور » .

القسم الخامس

علوم الحياة

ان كلمة بيولوجيا تذكر بدراسة العمليات المولدة للحياة ، وهذه الكلمة ظهرت على عتبة القرن التاسع عشر سنة 1802 ، وقد ابتدعها بأن واحد وبصورة مستقلة كل من لامارك وتريفيرانوس -Trevir- anus .

وإذا كان هناك في السابق محاولات لمعالجة مسائل من هذا النوع ففي تلك الحقبة فقط بدأ التحليل الدقيق والمنهجي للمادة الحية وللقوانين العامة التي تحكم مسارها . وهو تحليل كشف عن الوحدة الأساسية بين قاعدتي العالم الحي . ان تمثيل طبيعة خالدة جامدة الى الابد امر لم يتحرر منه كبار الماديين في عصر النور وقد تراجع أخيراً بخلال القرن التاسع عشر أمام الهجمات المتكررة التي تصدت له . لقد اكتشف الفكر في كل مكان الانتقال أو التغير في الزمن كما اكتشف الترابط في الفضاء . وبعد معارك طويلة وصعبة ، جرت حول مسألة نشأة الانسان وحول نظرية التطور ، الذي هو موضوع رئيسي في البيولوجيا في القرن التاسع عشر أصبح درس علوم الحياة مؤهلاً للتكون بعد استبعاد كل لجوء الى الاعتبارات غير العلمية ، الداخلة في مجال الميتافيزيك والتيلوجيا أو العلم الإلهي .

وأثناء تطور البيولوجيا السريع ركز هذا العلم اهتمامه الخاص - حتى اثناء متابعته لوصف وتصنيف العالم الحي - على مسائل تطور الكائنات . وتشعبت البيولوجيا الى علوم متعددة خاصة ، محددة بشكل ضيق نوعاً ما ، وذلك اثناء توسع المعارف وتقدم التقنيات . وعلى كل حال ان هذه التخصصات المتنوعة ، المستحدثة بالكشف التدريجي على تعقيدات الأشياء لم تكن الا طرقاً مختلفة من طرق التحليل موجهة نحو هدف إجمالي واحد هو دراسة الطبيعة .

هذه النهضة العجيبة في علوم الحياة بخلال القرن التاسع عشر تميزت بأن واحد ببعث طرق الرصد والمراقبة والتجريب المتزايد الدقة ، وباستخدام تقنيات مبتكرة ذات إمكانيات لم تكن معروفة قبل ذلك الحين ، كما تميزت بصياغة النظريات الجريئة ذات المصائر المتنوعة ، وبيان انتشار البحوث التفصيلية . ومن اجل توضيح الخطوط الموجهة والمظاهر الرئيسية لتلك المرحلة المهمة في تاريخ علوم

الطبيعة ، توجب علينا اعتماد خطة منهجية . ومن أجل تلاقي الصفة المصطنعة دائماً في مثل هذه التقسيمات بذل مؤلفو الفصول التالية جهودهم كي يضعوا في بحوثهم نوعاً من الترابط يتسم بصلاية الخطة أو التصميم التي لا بد منها . من جراء هذا ذكرت مسائل متنوعة في عدة فصول ، إنما تحت أضواء مختلفة تتيح بأن واحد إعطاء صورة أكمل وجذب الانتباه نحو بعض المصاعب في التفسير .

وهكذا يقسم مجمل علوم الحياة إلى ثلاثة أقسام كبرى (أو كتب) . يعالج الكتاب الأول مسائل متعلقة ببنية ويعمل الأجهزة الحية ، ويدرس أول الأمر نشأة النظرية الخلوية والمجالين العلميين المرتبطين بها وهما «السيولوجيا» و«الهستولوجيا» أي علم الخلايا وعلم الأنسجة . وخصص فصلان مهمان (الزولوجيا أو علم الحيوان والبيوتانيك أو علم النبات) للعديد من الأعمال المتعلقة بدراسة أشكال الحيوانات والنباتات (مورفولوجيا) وإحصائها وجردها وتصنيفها وجغرافيتها . وتلت وصف بدايات الميكروبيولوجيا وعمل باستور Pasteur دراسة تقدم فرعين متوازيين من التحليل التجريبي لوظيفة الأجهزة الفيزيولوجية النباتية والفيزيولوجية الحيوانية .

ان الكتاب الثاني « ولادة الأشكال Genèse des formes » يذكر في بادئ الأمر ولادة ثم ازدهار مجالين علميين قريبين جداً : التشریح المقارن وعلم الإحاثة بالنسبة إلى الفقرات . وبعدها يأتي فصلان يتعلقان بمسائل التوالد الحيواني (التناسل وعلم الأجنة) ثم تناسل النباتات ، وهما من المسائل التي جدد درسها بصورة كاملة بخلال القرن التاسع عشر . ويدا شارل داروين (Charles Darwin) صورة مهيمنة في علم الأحياء بخلال النصف الثاني من القرن ، وشَاهدُ عمله وتأثيره البالغ ثابتان في الفصل المخصص للنظريات التفسيرية حول التطور . وبعد التصوير للأعمال الأولى حول علم الوراثة التي لم تعرف أهميتها إلا في فجر القرن العشرين ، يعالج الفصل الأخير من الكتاب الثاني مسألة ما قبل التاريخ البشري ، وهي مجال علمي عرف القرن التاسع عشر ولادته . وقد أثار هذا العلم مناقشات حامية ، وهذا الفصل في بعض من مظاهره يربط دراسة علوم الحياة بدراسة الجيولوجيا ويعلم الأرض .

أما الكتاب الثالث والأخير فمخصص للعلوم الطبية التي عرفت في القرن التاسع عشر نمواً ضخماً . هذه النهضة المرتبطة بشكل متزايد الوضوح بتقدم البيولوجيا ، تدل وتبشّر النجاحات الفخمة في طب القرن العشرين .

الكتاب الأول

البنيات والوظائف

الفصل الأول

النظرية الخلوية . السيتولوجيا (علم الخلايا) . والهستولوجيا (علم الأنسجة)

ان التشريح المقارن كما رآه كوفيه Cuvier وتلامذته ، يعلل بنية الكائن الحي عند مستوى الأعضاء دون بلوغ العناصر التي تكوّنهما ودون بنيتها الأساسية ، (راجع هذا الموضوع دراسة . ج . بيفيتو J. Piveteau الفصلان 1 و 2 من الكتاب2) وهذه البنية سوف تصحّ بخلال القرن التاسع عشر موضوع فرع خاص في علم البيولوجيا ، اسمه الهستولوجيا ومكونه الأساسي الخلية ؛ الهستولوجيا سوف تصبح ثابتة وتوضح مولدة بدورها مجالاً علمياً خاصاً هو السيتولوجيا (أو علم الخلايا) .

بيشات رائد الهستولوجيا : - هناك رائد عظيم لهذه العلوم الجديدة ظهر في بداية القرن ، هو كزافييه بيشات Xavier Bichat (1771 - 1802) . عين بيشات سنة 1795 لكرسي التشريح في كلية الطب في باريس . وبذل فيه نشاطاً مدهشاً كاستاذ وكباحث . وفي سنة 1800 نشر سلسلة من المؤلفات البديعة منها : « بحوث فيزيولوجية حول الحياة والموت » (1800) ، « كتاب الاغشية » (1800) . « التشريح العام المطبق على الفيزيولوجيا وعلى الطب » (1801) . وكثت هذه الكتب لكي تحلّد ذكراه . وما من شك انه لوبقي حياً لكان لعب دوراً كبيراً في التطور اللاحق للبيولوجيا .

وتجاوز بيشات مفهوم العضو لكي يبرز العناصر التي تكونه ، ولهذا فقد اجري تجاربه على الحيوان الحي مستعملاً تقنيات خاصة « التشريح ، المهرث والتعفن ثم السلق ، الخ » . . . وبدأ علم الهستولوجيا معه .

كتب يقول : « ان الحيوانات كلها هي مجموع من أعضاء متنوعة يساهم كل منها ، وهو يؤدي وظيفته على طريقته ، في حفظ المجموع . انها أشبه بآلات خاصة في الآلة العامة التي هي الفرد . ولكن هذه الآلات الخاصة تتألف بذاتها من عدة أنسجة ذات طبيعة مختلفة جداً تشكل حقاً الأعضاء . . . ان الكيمياء لها أجسامها البسيطة ، والتشريح له أنسجته البسيطة التي بتداخلها تشكل الأعضاء » .

وقد ميّز بين واحد وعشرين نسيجاً ، بعضها خاص ببعض الأعضاء مثل العضلات والنسيج

العصبي، وبعضها مشترك بين كل الأعضاء، ومن بين هذه الأخيرة النسيج الخلوي، « الذي نسميه اليوم النسيج الملحمي » ولم يستطع ييشات التوصل إلى العنصر الأساسي في كل هذه الأنسجة أي الخلية بالذات. ولكن مفاهيمه وأعماله جعلت منه مؤسس علم التشريح العام للحيوانات.

ولادة وتطور النظرية الخلوية : - إن الخلية بذاتها قد عرفت منذ القرن السابع عشر في النباتات بفضل الغشاء السليولوزي الذي يحيط بها، وذلك من قبل الملاحظين المختلفين الكبار أمثال ر. هوك. R. Hooke. وليوينهوك Leeuwenhoek وماليبيجي Malpighi وغرو Grew (وكان هوك أول من استعمل كلمة خلية في كتابه المسمى ميكروغرافيا سنة 1665). وقد أدرکہا ليوينهوك في الكريات الحمر من دم الأسماك (بل إنه صور نواتها) كما شاهدها في الحيوانات المتوة.

وبخلال القرن الثامن عشر نشأت في ألمانيا تيارات معادية للمادية الفرنسية. وكان « لفلسفة الطبيعة » التي تطورت في هذا البلد، على أثر أعمال لينباز Leibniz وكانت Kant تأثير كبير على توجه علم النبات. وتمتع شيلنغ Schelling، حوالي سنة 1800 بمركز ضخم، فعلم طروحاته المثالية الشهيرة حول « الروح الكونية » وهي مبدأ وحدة الكائنات العضوية التي ليست إلا تفسيرات مادية متتالية لهذا المبدأ، تفسيرات تقع عند مستويات تزداد رفعتها ولا ترتبط فيما بينها بأي رباط حقيقي. وانه، وإلى حد بعيد، تبعاً لهذه الفكرة المثالية قد ازدهر العلم في ألمانيا كما نشأ بشكل خاص « علم الاجنة » والنظرية الخلوية.

وابتداءً من سنة 1805 اخذت يواد النظرية الخلوية ترتسم في مؤلف العالم الطبيعي الألماني لورنز اوكن Lorenz Oken وفيما بين 1824 و 1830، بشكل خاص اعطت أعمال علماء النبات الفرنسيين دوتروشي Dutrochet، وتوربين Turpin وبريسودي ميربال Brisseau de Mirbel، هي التي اعطت للنظرية أطرها الأساسية. إن فردانية الخلية معترف بها فيها، وكذلك قيمتها كعنصر أساسي في بنية النباتات.

في سنة (1812) استطاع الألماني مولدنهاور Moldenhawer عزل الخلايا النباتية مستعملاً أسلوب المرح. واستطاع دوتروشي Dutrochet، عن طريق غلي اجزاء من النباتات في الاسيديفترك، ان يعزل كذلك، في سنة 1824، الخلايا المسماة خلايا ماليبيجي وميربال Mirbel، وسعى إلى البحث عن مثيلاتها عند الحيوانات.

ونشر توربين في سنة 1826 كتاباً عنوانه ذو دلالة : « ملاحظات حول الأصل والتشكل البدائي للنسيج الخلوي، فوق كل من حوصلات هذا النسيج المعبرة وكأنها أفراديات متميزة، لها مركز حيوي خاص للاتبات والانتشار، ومخصصة لتشكيل - عن طريق التجميع - الذاتية الفردية المؤلفة من كل النباتات التي يتضمن جهازها أكثر من حوصلة ».

وتتبع ميربال Mirbel سنة 1831، في (مارشانيتا Marchanita) (كيديات أو طحالب Hépati-ques)، تشكل الخلايا أثناء تبرعم الغبيرات (Spores: جسيم صغير في الازهاريات وظيفته احدث التناسل اللأشقي). واستنتج من ذلك توالد الخلايا بعضها من بعض. وفي سنة 1808 قام الألماني

تريفيرانوس Treviranus بمراقبت من ذات النوع . وقدم ي . ماير E. Meyer في كتابه الوسيط في علم النبات (1830) تعريفاً لتكون النباتات شبيهاً بتعريف تورين . وأخيراً ، وفي سنة 1831 ، في انكلترا ، لاحظ العالم النباتي ر . براون R. Brown ، في خلايا الجلد الأعلى في مختلف أنواع الاسكليديات والاوركيديات وجوداً دائماً لجسيم سماه النواة . وقد أدرك عمومته .

ولا بد من إفراء محل خاص لإفليكس دوجاردان F. Dujardin الذي صحح وهو يلزم البروتوزووير Protozoaires الأخطاء التي ارتكبها ارهنبرغ Erhenberg . حين عزا إليها بنية تشريحية معقدة وجهازاً كاملاً من الأعضاء . وكان الميكروسكوب قد حقق تقدماً ضخماً بفضل علماء البصريات أمثال شيفاليه وأوبرهوزر Oberhäuser وأميسي Amici الذين حققوا عدسات صافية (سبق استعمالها منذ سنة 1758 في المناظير الفلكية) .

كتب دي جاردان سنة (1841) في مقدمة كتابه التاريخ الطبيعى للنقاعيات Infusoirs : « ان الوضوح الحاصل بفضل التكبيرات من عيار 300 الى 400 قطر ، يعلمنا البحث بواسطة حيونات عن الشكل الحقيقي وعن بنية الأجسام بدلاً من التحرر عليها من خلال إطار غامض ومبهم » .

واعترف دوجاردان Dujardin ان بعض المخربات (Foraminifère) (غرومي وميلول Gromie et Milole) ليس لها أعضاء متميزة بل تكون فقط من مادة حيوية تستطيل بخيوط متشعبة طويلة ورفيعة أو تشكل كتلاً واسعة وقابلة للتغير . وأطلق دوجاردان على هذه المادة الاسم الذي ساركود Sarcode (1835) . وللأسف زال هذا الاسم المعبر وحل محله كلمة بروتوبلاسم المستعملة في سنة 1839 من قبل بوركي Purkyne ، وكرسها العالم النباتي . ه . فون موهل Muhl للخلايا النباتية . وقامت كلمة بروتوبلاسم وكلمة ساركود حوالي سنة 1850 ، واستعملت عموماً بهذا المعنى منذ ذلك الحين . ومع ذلك فإن ريماك Remak (1850) وماكس شولتز Max Schultze هما اللذان اعطيا لكلمة بروتوبلاسم الاستعمال بالمعنى الحديث .

وكانت بنية البروتوبلاسم بعد ذلك موضوع العديد من الأعمال التي من بينها تذكر بشكل خاص أعمال ناجلي Naegeli ، وبوتشلي Bütschli و . ف . فليمينغ Flemming ، وفي زمن ملاحظات دوجاردان اكتشف جوهانس مولر ، وبوركي وفالتين خلايا عماتلة لخللا النباتات في الحيوانات وفي مختلف الأنسجة والغضروف والغدد والأغشية الخ .

ورغم أن النظرية الخلوية قد نشأت في فرنسا خصوصاً ، إلا أنها اعتبرت بوجه عام من إنجازات العالمين الألمانيين الطبيعيين : ماثياس جاكوب شليدن Mathias - Jacob Schleiden (1804 - 1881) استاذ مادة النبات في جامعة ينا والعالم الحيواني تيودور شوان Théodor Schwann (1810 - 1882) الذي عمل يومئذ في برلين . وهذان العالمان هما اللذان صاغا في سنة 1838 و 1839 ، تصميم فكرة الخلية كمعصر أساسي في الأجهزة . وقد حفظت الأجيال اللاحقة ، بصورة موجزة ربما ، اسم هذين الرجلين الكبيرين اللذين يدينان لمن سبقهما بالكثير . الا انهما ، بفضل زيادة فعاليتيهما وحماسهما قد حصلا الآن على التكريم الرمزي .

والواقع ان شليدن *Schleiden* وشوان *Schwan* وقد عملا منفردين ، لم يعرفا اكتشاف الأصل الحقيقي للخلايا . فاعتقدا ان الخلايا تنتج عن تكثف مادة خاصة هي سيتوبلاستيم ، وانه حول الحبية الأساس « النواة » تتكون النواة ثم عليها تتجمع مادة البروتوبلاسم التي تتميز بغشاء يحيط بها . والحقيقة ان كل خلية تنبثق عن قسمة خلية سابقة ، وهذا ما قرره كثير من العلماء الألمان امثال النباتين فون موهل ، ونيجلي ، وهوفمستر *Hofmeister* والفيزيولوجيين ريماك *Remak* وآ . كوليكير *Kölliker* الخ . واشمل الاختصاصي في علم الأمراض رودلف فيرشو *Virchow* هذا التشكل لخلايا الدمامل والصديد ، وصاغ في سنة 1858 في كتابه الشهير « الخلايا والباتولوجيا » ، كمعطى أساسي واطلاحي، المسلمة : الخلية تولد الخلية .

وإذا في حوالي منتصف القرن التاسع عشر تركزت النظرية الخلوية وعممت على ملكي الحيوان والنبات . وسرعان ما لعبت دوراً في الفلسفة وفي العلوم الانسانية . ومن أهم نتائجها الرئيسية انها ساعدت على اكتشاف الطبيعة الوسيطة للكائنات ذات الخلية الواحدة أو اليرقوزوير ، والتي ليست لا حيواناً ولا نباتاً (راجع بهذا الموضوع دراسة الأنسة آ . تري *Tetry* الفصل اللاحق) (وهذه الفكرة هي فكرة بوري دي سان فانسان *Bory de Saint Vincent* واعمال هيكل *Haeckel*) : وهذه الفكرة كانت مادة ثمينة استولت عليها النظرية التطورية .

فضلاً عن ذلك كان علم خاص هو السيتولوجيا في طور المخاض وسوف ينهض بسرعة بفضل سلسلة من الأعمال خارجة عن نطاقه ، خاصة اعمال ناجلي ، وفون موهل وهوفمستر . وبين سنة 1830 و 1838 بين العالم النباتي الألماني ف . ج . ف . ميين *Meyen* ان الخلية تحتوي على عدد من الأجسام المختلفة . وفي النصف الثاني من القرن قدمت مساهمات ذات أهمية قصوى من أجل معرفة نية البروتوبلاسم والنواة والغشاء الخلوي . وتخلل هذه الحقبة تم حل مسألة التكاثر الخلوي .

الانقسام الخلوي : - في غالبية الحالات تنقسم الخلية الى خليتين وليدتين . وقد توجب التمييز بين طغين من هذا الانقسام . في الانقسام الأول المسمى بالباشر ، يتمدد جسم الخلية وتمدد بذات الوقت نواتها ثم يستدقان في الوسط وينفصلان الى قسمين : ولكن هذا الأمر هو حالة نادرة جداً . أما الاسلوب الآخر ، وهو الأعم ، فهو الانقسام غير المباشر ، وهو تفاعلية كثيرة التعقيد اطلق عليها عدة أسماء منها : السينيز *Cinèse* السيتوديريز *Cytodirèze* أو ايضاً الميتوز *Mitose* أو كاريو سينيز *Caryocinèse* . ولكن هذه الاسماء الاخيرة تدل بشكل خاص على انقسام النواة . ويبدو هذا الانقسام واحداً وموحداً في الملكتين ، وقد توضح فيما بين سنة 1870 و 1890 بفضل استحداث تقنيات دقيقة تتيح تفحص الخلايا بالميكروسكوب . وهذه الامكانية الأخيرة آتية ومباشرة في حالة الأنسجة أو الأعضاء التي تشكل شفرات رقيقة جداً لا تحتوي الا على طبقة أو طبقتين من الخلايا . ولكن في حالة الأنسجة أو الأعضاء الضخمة لا بد من اللجوء الى التقطيع المصطنع وهذا التقطيع الرقيق جداً (بعض اجزاء من ألف جزء من الملم) يحصل بفضل آلات خاصة اسمها ميكروتوم *Microtomes* . ويعد لصق الاجزاء المقطعة فوق صفائح من الزجاج ، تلون بتلوينات خاصة لا تتلف بنياتها ، عندها تصبح صالحة للنظر من خلال الميكروسكوب .

وقد تم انجاز عدد ضخم من الأعمال في هذا المجال وتكتفي هنا بذكر اسماء السباقين الكبار في مجال هذه البحوث : ادوار ستراسبورجر E. Strasburger (1844 - 1912) وبعده ليون غينار Léon Guignard (1852 - 1928) بالنسبة الى النباتات . ثم ولتر فليمينغ W. Flemming (1843 - 1915) وادوار فان بينيدن Ed. Van Beneden (1846 - 1910) ، واوتو بوتشلي Otto Bütschli (1848 - 1920) ، واوسكار Oscar Hertwig (1849 - 1922) ، وریشار هرتويغ R. Hertwig (1850 - 1937) ، وتيودور بوفيري The. Boveri (1862 - 1915) بالنسبة الى الحيوانات .

الكاريوسينيز Caryocinèse أو الميتوز mitose (اي انقسام الخلية النباتية الراقية بشكل غير مباشر) : - نذكر بإيجاز كيف يتم انقسام النواة في الخلية أو ما يسمى بالكاريوسينيز، يتغير مظهر النواة ، وتدل تقنيات التثبيت والتلوين على ظهور اجسام (انواع من الدقائق تسمى كروموزوم) بعدد ثابت (في كل نوع) ، تتلون انتقائياً بفعل بعض المواد (الملونات القاعدية : باز) . وبعد ظهور الكروموزوم سرعان ما تتفسخ بحسب اطوالها . ويزول الغشاء النووي ، وعندها تتجمع الكروموزوم في وسط جسم متكون من خيوط وتسمى مغزل . وأثناء المراحل التالية تنفصل أنصاف كل كروموزوم ثم تتجه باتساق وتجانس نحو قطبي المغزل منسابة من خلال الخيوط المغزلية . وهكذا تتكون نواتان جديدتان متساويتان بدقة ومعادلتان للنواة الاصل . وبذات الوقت يتكون في منتصف الخلية الاصل غشاء يفصل بين الخليتين الجديدتين .

ان عدد الكروموزوم ثابت دائماً في انسجة كل نوع معين . ويرمز اليه بالرمز $(2n)$. وثبوتية هذا العدد لها دلالة أساسية ، فالكروموزومات تشكل المادة الأساسية المكونة للخصائص التكوينية والوراثية في كل نوع . ومعرفة أنماط انقسام الخلية كانت سالتالي اكتساباً ذا أهمية أساسية فيما يخص البيولوجيا .

والمؤلفان الرئيسيان لهذا المكتسب العلمي كانا ادوار ستراسبورجر بالنسبة الى النباتات (من سنة 1875 الى سنة 1884) وولتر فليمينغ بالنسبة الى الحيوانات (من سنة 1879 الى سنة 1882) .

السيولوجيا النباتية : - عدا عن هذه الأعمال الأساسية حول النواة وحول انقسام الخلية يجب ان نذكر في مجال السيولوجيا النباتية البحوث الجميلة التي قام بها آ.ف.و. شمير Schimper ، مير Meyer (1881 - 1886) حول اعضاء صغيرة في السيتوبلازما Cytoplasma ، ذات أهمية أساسية في التركيب التصوري (فوتوستين) ، هي ما يسمى باللاست Plastes ، بحوث ساش Sachs حول الفجوات Vacuoles ، وبحوث انجر Unger ، وهستين Hanstein حول حلايا النقطة الانبائية ، وبحوث آ. باين Paen ول. مانجين Mangan في الاغشية الخلوية ، وحاصة بحوث فيفر Pfeffer وه. دي فري Vries وهي بحوث سنذكرها فيما بعد .

تطور الميستولوجيا : (علم الخلايا) : - الى جانب التقدم الحاصل في مجال معرفة الخلية وانقسامها تطورت معرفة مختلف الأنسجة في الخلية التي تعتبر عنصرها الأساسي ، كما تطورت معرفة الدم بكرياتة الحمر وكرياتة البيض والتي تشكل هي أيضاً خلايا . وهكذا تشكل علم الخلايا أو

الميستولوجيا الذي توسع مجاله بذات الوقت مع علم الاستطباب او الباتولوجيا . واقترن قيام هذا العلم الجديد باسماء سلسلة من المؤلفين امثال جاكوب هنل J . Henle (1809 - 1885) ، وكارل ريشارت Reichert (1811 - 1883) ، وروبرت ريماك R . Remak (1815 - 1865) ، والبرت فون كوليكير A . Von Kölliker (1817 - 1905) وفرانز ليديج Leydig (1821 - 1908) ، ورودلف فيرشو R . Virchow (1821 - 1902) ، ويلهيلم ولدابير W . Waldeyer (1836 - 1921) وكلهم اشتغلوا في ألمانيا حيث لقي التقدم والخصب في البحوث مساعدة بفضل انتشار المختبرات وتجهيزها الحسن . ونذكر أيضاً ف. فيدوفسكي Vijdovsky (1849 - 1939) ، في براغ .

وفي فرنسا كان مختبر لويس رانفييه I . Ranvier (1835 - 1922) ، في كوليج دي فرانس مهد مدرسة هيستولوجية كاملة . واحتل رانفييه في تطور الميستولوجيا مكانة عظيمة بفضل أصالة وأناقته الطرق التي ابتكرها ، وتفوق على التقنيات التافهة . ودرس على مدرسة كلود برنار فبدت هيستولوجيته فيزيولوجية وتجريرية بدلاً من أن تكون وصفية خالصة . وإليه يعود الفضل بشكل خاص في تحقيق الانجازات الحاسمة في معرفة بنية وعمل عناصر الجهاز العصبي .

ودرس هيستولوجية الجهاز العصبي بفضل تقنيات خاصة (التلون باملاح الفضة والذهب الخ) وفي هذا المجال يجب ذكر اسماء كل من كاميلو غولجي Camillo Golgi (1844 - 1926) ، استاذ في بافي ، وستيفان آباتي S . Apathy (1863 - 1922) في كلوج ، واسم غوستاف رتريروس G . Retzius (1842 - 1919) في ستوكهولم ، وخصاصة س . رامون اي . رامون Cajal Ramón y Cajal (1852 - 1934) استاذ في مدريد . ان الترابط بين الخلايا العصبية (المسماة نورون من قبل ولدابير Waldeyer) ونهاياتها أو أطرافها في مختلف الأنسجة ، قد جددت المعرفة بالمراكز العصبية وخاصة معرفة الدماغ وعمله . وهكذا أصبح الميستولوجيا حقل بحوث أساسية جددت دراسة الأنسجة والأعضاء .

الفصل الثاني

الزولوجيا أو علم الحيوان

ان الغرض الاساسي من الزولوجيا هو وضع جرد بالأشكال الحيوانية ثم اجراء تصنيف منهجي لهذه الأشكال ثم تحليل بنيتها وتطورها (غوها) وعلاقاتها المتبادلة ورباطها مع الوسط المجاور . ويؤدي هذا التحليل الى معرفة المظاهر الأساسية لظواهر الحياة ، وهو مجال البيولوجيا العامة .

في القرن الثامن عشر نالت الزولوجيا اطاراً محدداً تماماً بفضل عمل ليني Linné الذي اوضح مفهوم النوع ووضع مدونة منهجية شكلت ركيزة متينة للتصنيف . على هذا الأساس توسعت ونهضت نهضة سريعة .

هذا التوسع وتوجهه انطلقا في بداية القرن التاسع عشر بفضل عمل مارك وكوفيه ، وايتان جوفروا سان هيلر ، هذا العمل الذي وضع أسس الأناتوميا أي التشریح المقارن واعطى للتصنيف قيمة توليف لتاريخ الحياة وذلك باقتراحه تبعية متبادلة بين مختلف مجموعات المملكة الحيوانية .

وإذا كان جرد الأشكال الحيوانية قد شكل مشروعاً واسع النطاق في بداية القرن التاسع عشر فإن انتشاره الهائل قد حكم بفكرة القرى الحقيقية داخل كل مجموعة وفيما بين المجموعات ذاتها ، مما يعبر عن حد التطور الذي هو الرمز الأكبر للزولوجيا في القرن التاسع عشر .

I - مناهج وتنظيم البحث

في القرن التاسع عشر عرفت العلوم التي تهتم بالكائنات الحية نهضة خاصة مهمة . ويعتبر تحسين التقنيات المتنوعة ، المرتبط بتقدم العلوم الفيزيائية والكيميائية سبباً جزئياً لها . وأتاح ، بشكل خاص التحسينات التي أدخلت على الميكروسكوب ، والحصول على استمدادات أفضل ، مراقبات أكثر دقة وأكثر تفصيلاً .

الميكروسكوبيا والتقنيات المرتبطة بها . لقد أصبح الميكروسكوب آلة عمل بعد تحسين الشبقيات Objectifs الأكروماتية [أي التي تزيد ظلال الألوان في العدسات] ، وبعد ادخال تقنيات التغطيس أو

الغمر، وبعد اختراع الميكروسكوب ثنائي الأعين الخ. (يراجع في هذا الموضوع دراسة ف. ابيلس Abelès القسم 3، الفصل I). ومنذ سنة 1878 انجز اميل أبي Abbe جهازاً متقدماً جداً شكل آلة عمل مرضية.

يقتضي استعمال الميكروسكوب تحضير المقتطعات. وأسلوب التقطيع باليد لا يلائم الأنسجة الحيوانية، فعمل علماء الزولوجيا بصورة رئيسية عن طريق التشريح. ونجح فالانتين Valentin وبوركيني Porkiné في تقطيع شرائح من الأنسجة بواسطة جهاز من سكينين متوازيين. الأول مقطع مجهري (ميكروتوم) صنع حوالي سنة 1866 من قبل و. هس His، وقد حقق بصورة ميكانيكية انسياب الشيء المراد قطعه. وحوالي سنة 1874 جعل ل. رانفييه Ranvier استعمال هذا الجهاز أكثر سهولة في حين أن عالم النبات ريفيه Rivet صمم جهازاً كانت شفرته تتحرك بصورة ميكانيكية. وبمساعدة رجل تقي انجز آ. براند Brandt غطاءً آخر من الشفرات تتحرك فيه الشفرة والشيء بأن واحد وسمي مقطع ليزر براند Leyser - Brandt. وهناك أمشاط أخرى متنوعة ابتكرت في السنوات اللاحقة ومنها مقطع فيفر Pfeifer، وثولفال Threlfall وأخيراً مقطع مينوت Minot وهو النمط المعتمد حالياً (1886). وتقنية القطعة المراد قطعها بالبارافين، وهو أمر دعا إليه كليس (1869)، دخلت في التطبيق العادي حوالي سنة 1880. وكان آ. مير Meyer (1883) وهو أول من الصق الشرائح فوق الشفرات بواسطة زلال البيض. واستعمل لاثو Latteux السلولودين الذي به استطاع دوفال Doval (1879) أن يغطي الأنسجة الطرية. وفي أواخر القرن تقريباً استعمل إسم « كندا » لتحضير المستحضرات. أما تقنية المقتطعات المجمدة وهي اليوم ذات اعتبار شديد فتعود إلى راسيل Raspail وإلى ستيلين Stilling (1842).

وتختلف المثبتات المستعملة باختلاف موضوع الفحص هل هو خلية أم نسيج. وقد جهد السيولوجيون (علماء الخلية) والميستولوجيون (علماء الأنسجة) في العثور على صيغ تعطي نتائج أكثر فاكثراً رضاء.

واستعمل آسيد كروميك من قبل هانوفر Hannover (1840) ومن قبل آ. كورتي A. Corti (1850). ولاحظ هذا الأخير أن الأسيد آسيتيك هو مثبت للمواة. وادخل ريماك سنة 1854 مريح آسيد كروميك مع آسيد آسيتيك. واستعمل ه. مولر Müller (1859) بيكرومات البوتاسيوم، وكذلك كلورور الزئبق في سائل غودبي Goadby واستعمل هذا الأخير أيضاً من قبل كورتي (1851) وريماك (1854). وظهرت المثبتات المركبة، الزنكر والالتسان سنة 1894 والفليمين Flemming. وفي سنة (1893) ثبتت ف. بلوم F. Blum من خصائص الفورمول.

وفي سنة 1894 انجز « الثمان ». تقنية لنزع الرطوبة في درجات الحرارة المنخفضة سوف تستعمل بشكل واسع في القرن العشرين باسم التجفيف بالتجميد (Freeze Drying).

أما الملونات الحيوية التي عرفت منذ القرن الثامن عشر فما تزال تستعمل. وهكذا استعمل اهرنبرغ Ehrenberg (1838) النيلة لتلوين الجيوب الهضمية في البقايعات. واستعمل كورتي Corti (1851) الكارمن للظاهرة الحلزونية (الأذن الداخلية).

وفي سنة 1858 وضع فون جير لاش Von Gerlach تقنيات تلونية مراقبة ومنمذجة . وأتاح اكتشاف مشتقات الأنيلين على يد و . بركين W . Perkin (1854) الحصول على سلسلة متنوعة من الملونات . واستعمل أول ملون أنيليني في أسيد أمينيك من قبل بينيك (1862) في حين أن بوهمر Böhmer (1865) استعمل الهيماتوكسيلين المتبلر وفي حين طبق بونشر (1869) التلون التفارقي الذي سبق وأنتجه العديد من الهيستولوجيين . واستعمل اهرليك Ehrlich الصفرانين وأدخل الهيماتوكسيلين الحمضي كمثبت للون . ويميز بين الملونات البازية (القاعدية) ذات التألف النووي ، وبين الملونات الأسيدية أو الحمضية ذات التألف السيتوبلازمي وبين الملونات الحيادية المستعملة للدم . وفي سنة 1899 ، اقترح فليمغ Flemming التلون المثلث وأضاف اليه ماير Mayer (1892) الهيمالون . وجمع الميكرو توميست فاديمكوم Microtomist's Vade - Mecum الذي وضعه بولس لي Bolles Lee (1885) مختلف الانجازات المحققة في هذا المجال .

السيتوكيميا (أو كيمياء الأنسجة) : - هذا العلم كان يهدف الى تحديد الطبيعة الكيميائية للمكونات الخلوية ، ورغم ان استعمال اليود كمعرض فاعل في الأميدون (النشاء) يعود الفضل فيه الى كولان (Colin) والي كلوبري Cloubry (1814) ، فإن ف . ف راسيل F . V . Raspail كان المؤسس الحقيقي للسيتوكيميا ، فقد أدخل الاختبارات في التقنية الميكروسكوبية ، متعرفاً على هوية البروتينات (1829) بفضل طريقة تتوافق مع التفاعلات الثلاثة المستعملة حالياً . وانجز ف . شولتز F . Schulze دوروستوك (1850) اختباراً للسلولوز . واستخدم ماكس شولتز Max Schultze (1865) النترات اوكسيد دوسيموم لتلون الشحومات في الأنسجة الحيوانية في حين استعمل ل . ريفيه لنفس الغرض أزرق الكينوليسين ، واستعمل داداي Daddi (1896) « السودان III » ، واستعمل ب . اهرليك P . Ehrlich (1886) ملوناً حيوياً آخر هو أزرق الميتلين للأنسجة العصبية .

تقنيات متنوعة : - ولدت تقنيات عديدة في القرن التاسع عشر . فأدخل راسبيل Raspail الترميد الميكروسكوبي ، وهي طريقة في التحليل لم تقدر وتطور إلا في القرن العشرين .

وتشكلت التقنيات في علم الأجنة ابتداءً من سنة (1880) وبواسطة المشارط والإبر الناعمة استطاع ر . زوجا R . Zoja (1895) ان يفصل بين الخلايا اللاستولية [وهي خلايا تتولد عن انقسام البويضة في المراحل الأولى من تكوّن الجنين] في البويضات المجزأة في قناديل البحر وشرح ي . ديلاج Y . Delage (1899) البيضات غير المشقة في التوتياء Oursins . وأدخل كابري Cabry المحرك الميكروسكوبي سنة (1887) . واستعمل دريش Driesch سنة (1893) أسلوب الحفز لفصل الخلايا البلاستولية (بلاستومير) . ومنذ سنة (1884) لجأ و . رو W . Roux الى الفصل القذفي لدراسة بويضات الضفادع . وفي سنة (1865) ثبت اوينيموس Onimus ومارتان Martin نبضات القلب على صفائح من الكولوديون . وصور أ . مويردج E . Muybridge الحصان ماشياً وراكضاً (1870 - 1882) . وفي سنة (1882) استعمل ج - ماري J . Marey الفوتوغرافيا لتحليل حركات الناس والحيوانات وابتكر آلات التصوير التوقيتية (كروتوفونوغراف) ذات الصفحة الثابتة وذات الصفحة المتحركة ، واستعمل بارودة كرونوفوتوغرافية لدراسة طيران الطيور ، وهي جهاز كان

في أساس نشأة السينماتوغرافية (آلات التسجيل السينمائية) التي بُدئ بها سنة 1893 بواسطة كينيتوسكوب اديسون ، وهو أول جهاز للمناظر المتحركة فوق فيلم .

أطر المجهود الجماعي : - كما هو الحال في المجالات العلمية الأخرى أثار انتشار المعارف الزوولوجية جهوداً جماعية ، ثم في بادئ الأمر انشاء جمعيات متخصصة ، ومنها الجمعيات اللينية (نسبة إلى ليني Linné) التي تشكلت في بداية القرن التاسع عشر وعرفت فرنسا عدداً كبيراً من هذه الجمعيات ما يزال بعضها قائماً حتى اليوم ، وإن كان نشاطها قد تضاعف جداً . وفي الخارج ما يزال منها بعض الشركات النشطة مثل الجمعية اللينية في لندن . ومنها أيضاً الجمعيات الزوولوجية التي أنشئت في فرنسا وفي انكلترا (1826) وخارجها ، والتي ما تزال ناشطة جداً ، وغيرها أيضاً من الشركات المتخصصة مثل الجمعيات الانتومولوجية [أي التي تبحث في علم الحشرات] هذه الجمعيات المتنوعة أمنت نشر وانتشار العديد من الأعمال ذات المنهجية .

وكان لعلماء الطبيعة والحيوان بشكل خاص دور ناشط في الاجتماعات السنوية التي تقيمها الاتحادات العلمية الكبرى التي انشئت في ألمانيا (ل. اوكن 1822 L.Oken) ، ثم في انكلترا (1831) ، ثم في فرنسا الخ . وهي اجتماعات كانت تسبق المؤتمرات الدولية في الزوولوجيا في أواخر القرن : باريس (1889) ، موسكو (1892) ، وليد Leyde (1895) ، وكمبريدج (1898) .

ويجب أن نشير أيضاً إلى تأسيس أو انتشار المتاحف ، في العديد من المدن ، حيث يتأمن حفظ وعرض الأجهزة المدروسة من قبل الباحثين على الجمهور . وفي المقام الأول هناك المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي في باريس ثم المتحف البريطاني للتاريخ الطبيعي في لندن . وفي الولايات المتحدة عرف متحف نيويورك كيف يجمع بين العرض الدقيق والحي للطبيعة ، أمام الجمهور ، ثم تجميع المستندات بشكل منهجي لاستعمال المتخصصين . ونمت متاحف مشابهة ، ومراكز بحوث في العديد من المدن والجامعات مثل شيكاغو وبرنستون وسان فرانسيسكو ، ومؤسسة سميثونيان في واشنطن ، وجامعة يال . ونذكر بشكل خاص المتحف الزوولوجي المقارن القائم في جامعة هارفارد ، بفضل ل. آغاسيز ، والمطور بفضل ابنه آ. آغاسيز .

أما الحفظ والجنائن الزوولوجية ، والتي تعود في نشأتها إلى العصور القديمة ، فقد عرفت نمواً كبيراً بخلال القرن التاسع عشر .

وفتحت حظيرة المتحف الوطني للتاريخ الطبيعي والتي انشئت سنة 1793 ، أمام الجمهور في مطلع القرن التاسع عشر واغتت هدايا ملوك إفريقيا المجموعات . وفي سنة 1826 قدم باشا مصر لملك فرنسا زرافة كانت الأولى التي وصلت إلى فرنسا حية ، وقد شكل مجيئها حدثاً مهماً .

كان الاهتمام الأول للجمعيات الزوولوجية أن تنشئ جنائن زوولوجية وكانت أولى هذه المنشآت قد فتحت في لندن سنة 1827 . ثم تلتها تبعاً جنائن دوبلن 1831 وريستول 1835 وفيلاذلفيا 1874 ، وسنسيناتي 1875 ونيويورك 1899 ، وملبورن 1865 الخ . وفي ألمانيا انشئت الجنائن الزوولوجية في برلين سنة 1844 وفي العديد من المدن الأخرى من قبل شركات مساهمة . نذكر أيضاً افتتاح حدائق زوولوجية

في كوبنهاغن 1859 وفي ستوكهولم وبال 1873 وفي هوغهولم Hogholmen (فنلندا 1891) نذكر أيضاً إنشاء أولى الجنائن الزولوجية الكبرى للتأقلم (باريس 1860، موسكو 1863، لشبونة 1833، الخ). وبذات الوقت تنظم استيراد الحيوانات المتوحشة في هامبورغ 1845. وأخيراً نذكر إنشاء أولى أحواض الأسماك والمائيات (في برلين 1869، وبرايون ونويبورك الخ).

وفي حين تزايد عدد الدوريات العلمية العامة، المنشأة بفضل الاكاديميات والجامعات ومختلف الجمعيات ظهرت أولى المجلات المتخصصة، وهي أدوات الجمعيات الزولوجية والمختبرات، أو النشرات المستقلة مثل مجلة الفيزيولوجيا التجريبية 1819، حوليات العلوم الطبيعية 1824، محفوظات مولر 1834، الطبيعة 1869 الخ. كما ظهرت أولى النشرات البيبلوغرافية (المكتبية) مثل السجل الزولوجي 1864، الدليل الطبي (اندكس مديكوس Medicus) 1879، السجل الزولوجي الألماني 1880 الخ...

II - تصورات جديدة حول الزولوجيا أو علم الحيوان

الصناعة أو علم التصنيف والمنهجية أو علم المنهجية (Taxonomie et systématique). - في الطبعة العاشرة من (سيستيماتورا) أو النظام الطبيعي (1758)، وصف ليني 4370 صنفاً. وقد تزايد هذا العدد بسرعة، وينسب ضخمة جداً. ومن هنا نشأت الحاجة إلى بذل الجهد من أجل التصنيف.

وقد عملت التصنيفات القديمة وهي بناءات تحكيمية على تجميع الحيوانات، بحسب تشابهها وتماثلها. وكان التركيز بشكل خاص على أهمية الصفات السطحية وعلى أسلوب الحياة. وجر هذا المفهوم إلى أخطاء تبدو لنا اليوم غير معقولة، ناتجة بقسم منها مهم عن التشويش واللبس بين أعضاء متشابهة وأعضاء متقاربة.

وقد قسم ليني الحيوانات إلى ست طبقات: ذوات الأربع، الطيور، الضفديعيات أو الغازييات، الأسماك، ثم الحشرات والديدان. في سنة 1806 ميز لامارك في كتابه جدول المملكة الحيوانية بين الحيوانات ذات الفقرات (والتي سميت فيما بعد الثدييات والطيور والزواحف والأسماك) والحيوانات غير الفقرية مثل (الرخويات، والحلقيات والصدفيات والعنكبوتيات والحشرات، والديدان المئوية والشعاعيات والمحافات Polypes). وفي سنة 1807 أضاف إليها، النفاخيات أو النفائات Infusoirs التي كانت مصنفة مع العنكبوتيات، ثم حشرت بين الرخويات والحلقيات والهديات. وتضمن تصنيف، أربع عشرة مرتبة. أما تصنيف كوفيه فمختلف تماماً (المملكة الحيوانية، 1817). وعرف «أربعة أشكال رئيسية، أربع خطط عامة» عليها بنيت كل الحيوانات. وهذه الخطط تتوافق مع تقسيمات الفقريات والرخويات والمفصليات والاسفنجيات أو المريمجات، وعمل كتاب «المملكة الحيوانية» لكوفيه كتاباً أساسياً تركز فيه التصنيفات على التشریح المقارن وحيث تقترن دراسة الأنواع الحية لأول مرة بدراسة أنواع المتحجرات.

إن مفهوم التطور ، في نموه الكامل سوف يعطي دفعة قوية لكل التصنيفات ، ومنذ ذلك الحين حل محل التصنيفات الطبيعية تصنيف تطوري يركز على النسالة أو (Phylogénese) أي علم الأنسال . ولكي يتحقق هذا التحول البطيء ، استعمل المستندات التي قدمتها المجالات العلمية الأخرى مثل علوم الأحاث وعلم التشكل (مورفولوجيا) والتشريح وعلم الأجنة . وحلت محل الشجرات الوراثية أو النسبية ، الكيفية نوعاً ما شجرات أخذت في الاعتبار المكتسبات الجديدة ، فأشارت الى روابط القرى . وبدت محاولة هيكل Haeckel 1868 ، إحدى أقدم المحاولات ، مبكرة جداً يومئذ . في سنة 1877 كتب ت. هـ. هوكسلي Huxley يقول :

« إن الأشياء المصنفة قد ترتبت وفقاً لجميع متشابهاتها الشكلية . وسماتها المتخذة كطابع يدل على المجموعات هي السمات التي قد تحدت بالملاحظة على أنها أساس العديد من المشابهات والفوارق . إن الفئات المختلفة المنهجية ترتكز على « تعداد وتقدير للمشابهات الشكلية دونما رجوع واضع الى النسل » .

إن هذه المفاهيم المتنوعة سوف تتوحد في القرن العشرين .

وأحدى الصعوبات في المنهجية تكمن في تحديد كل مجموعة من المجموعات المنهجية وخاصة في صعوبة تحديد النوع . ومن أفضل المحاولات لتحديد النوع ما صدر عن كوفيه : « إن النوع هو مجموعة من كل الأجسام العضوية المتولدة بعضها عن بعض أو عن أقارب مشتركة وعن أجسام تشبهها بمقدار ما تشابه فيما بينها » .

ولكن المميز الشكلي للنوع غير كاف . وقد فهم بوفون ذلك تماماً . وجهد المنظّمون الحديثون في وضع تعريف أكثر دقة للنوع مركّز على عدة ضوابط .

التخصيص الزولوجي . - في النمو الضخم الذي اتخذته الزولوجيا أصبح لكل فرع من فروعها مجال قيع فيه بعض المتخصصين ، دونما أن يمنع ذلك قيام روابط بين مختلف هذه الحقول البحثية ومن بين هذه الحقول حقل الفقرات حيث توضح ، من جهة ، التعداد والتصنيف المتعلقان بالأنواع ، في حين درست بدقة علوم الأجنة والتشريح المقارن بعد أن قلعت كل طبقة من هذا الشعب للبحث امكانات خاصة .

وشكلت الرخويات مجالاً آخر من مجالات البحث المتخصص هو علم الرخويات (Malacologie) .

وكذلك كان الحال في فرع المفصليات وخاصة الحشرات ، هذا الفرع الذي يغطي أرضاً واسعة . وأصبح علم الحشرات علماً شبه مستقل فقدم مواد ثمينة لعلم الأجنة العام . وبذات الوقت اقتضى بحثاً متعدد وملحة تتعلق بالتخريب الخطير جداً في أكثر الأحيان الذي تحدته الحشرات في الزراعة وفي نشاطات بشرية أخرى . واجتذبت الفراشات بجماها المصنفين الكثر ، دون إغفال المنفعة الحاصلة من بعض الأنواع مثل جنس « بومبكس موري » Bombyx Mori وهي دودة القز ، التي حثت أمراضها في القرن التاسع عشر باستور على القيام ببحوث تجريبية حولها . وبدت حشرات أخرى وكأنها

السهم المميت في الجراثيم الوبائية خاصة جرثومة الملاريا وأمراض المحيطيات .

وفي مجال آخر من التفكير كانت دراسة الحشرات الاجتماعية مثل النحل والدبور والنمل والعث مجال بحث خاص ذي فائدة عالية . إن الدراسة العامة لأداب الحشرات ، لما فيه من إمكانات تجريبية واسعة ، قدم للعلم أعمالاً لا تحصى ، وبحوثاً تجاوزت عالم المتخصصين . ويكفي أن نذكر ، بهذا الشأن باسم ج - هـ . فابر Fabre (1823- 1915) الذي عاش وحيداً إلا أن عمله الكتابي قد بلغ العديد من القراء .

وهناك مجموعات أخرى من المفصليات أمثال العقرييات (العناكب والعقارب والقراصات) كانت موضوع دراسات متعددة كان لبعضها وقع كبير في مجال الطب والمعالجة .

قدمت القنفذيات أو الشوكيات مادة انتقاء للدراسة العديد من المسائل المتعلقة بعلم الأجنة العام : الاخصاب ، تشقق البيضة ، والتوالد العذري أو الاخصاب بدون تلاعب ، التجريبي .

وكانت دراسة الديدان - وخاصة ذات الحلقات والعريصات - ودراسة المحفوفات البطن (التي تشكل بوليب المياه الحلوة نموذجها العام الذي درس من قبل آ . ترامبلي A. Trembley في القرن الثامن عشر) حقولاً خصبة في مجال الزولوجيا والبيولوجيا العامة .

III - الاحصاء الحيواني

بخلال القرن التاسع عشر اغتنى الجداول الاحصائي الحيواني بشكل ملحوظ . وعند قراءة أي كتاب مفصل في الزولوجيا ، يلاحظ كثرة عدد الباحثين في القرن التاسع عشر الذين ربطوا أسماءهم بالوصف الأصيل للأجناس الجديدة ، أو بوصف نوع جديد أو عائلة جديدة . ويضاف الى الاكتشافات والمعارف المتعلقة بالأنواع دراسات تشريحية وتكوينية للأجناس التي تم جمعها بخلال القرن الثامن عشر إلا أنها لم تعرف تماماً . وبسبب استحالة إجراء دراسة شاملة ودقيقة لما قدمه علماء الحيوان في القرن التاسع عشر لجداول الحيوانات ، فإننا نذكر بعض الوقائع وبعض الملاحظات المهمة بشكل خاص .

جرد الحيوانات غير الفقرية .- إن الديدان العريضة أو بلاتلمنت Plathelminthes كانت موضوع بحوث ما تزال مقولة اليوم وخاصة البحوث المتخصصة بالتهزات ، التي قدمها آ . لانغ A. Lang (1884) وفون غراف V. Graff (1899) .

في القرن السابع عشر كانت تُعتبر الدواليبيات من وحيدات الخلية ؛ وصنفها كوفيه من ضمن النقاعيات أو الميثونات . أما اهرنبرغ Ehrenberg (1838) فقد جعل من الدواليبيات طبقة من النقاعيات . وصحح دو جاردان Dujardin (1851) المديد من أخطاء اهرنبرغ . وبنه هوكسلي Huxley إلى الأهمية التناسلية في البروتونيفريدي Protonéphridies (قناة خلية لحية) وتصور هاتشك Hatschek نظريته حول التروشوفور Trochophore التي تعطي أهمية خاصة للتناسل في الدائريات أو

الدولابيات . وابتداءً من سنة 1886 بدأ عهد حديد مع الدراسات الجميلة التشريحية التي قدمها زيلنكا .

وُعُرفت بطينيات الأهداب *Gastrotriches* وهي ميكروسكوبية، معروفة منذ القرن السابع عشر إلا أنها كانت ملتبسة مع النفاقيات . وقام اهرنبرغ (1838) وشولتز بوصف أجناس عزوها، الأول الى الدولابيات والثاني الى المهزرات ، وارتضى مشنكوف (1864) القرابة مع الدولابيات وابتكر اسم بطنيات الأهداب في حين قام زيلنكا سنة 1885 بأول دراسة تشريحية مفصلة .

ولم يلاحظ أول قنمذي أو شوكي سنة 1841 بين طحالب شواطئ المانش من قبل دوجاردان الذي لم ينشر اكتشافه إلا في سنة 1851 . وعثر كلاباريد Claparède سنة 1863 على نفس الحيوان القنمذي وعلى نوع آخر ، ثم اكتشفت القنمذيات على مختلف الشواطئ الأوروبية . ودرس غراف سنة 1869 ورينهارد Reinhard تشريحها بالتفصيل .

وكانت الخيطيات الطفولية معروفة منذ زمن بعيد . وفي سنة 1819 وصف رودولفي Rudolphi أحد عشر نوعاً وحوالي 150 صفها منها . واقترح لها جيحور Gegenbaur اسم نيماتل - مانت (قسم الديدان الخيطية *Némannelminthes*) وقيل هذا الاسم . ودرس تشريح وحلقات الطفيليات من قبل العديد من العلماء المتخصصين بالديدان من لوكارت Leuckart وفان بندن Beneden إلى شنيدر الذي نشر سنة 1866 بحثاً اسمه : « مونوغرافيا در نيماتودن *Monographia der Nematoden* » واكتشف ت. ل. بنكروفت في أستراليا الخيطية الأنثى الراشدة (1876) وسماها غوبولد باسم بنكروفت : « فيلاريا بنكروفتي *Filaria bancrofti* » . أما الذكر الراشد فقد اكتشفه آ. ج. بورن Bourne (1888) .

وجاء اكتشاف التارديغراد (*tardigrades*) متأخراً بسبب صغر حجمها ، وفي سنة 1777 سمي سبالانزاني Spalanzani أحد هذه الحيوانات تارديغراد ، وأخذ دواير Doyère هذا الاسم فأطلقه على المجموعة بأكملها سنة 1840 .

وفرع الأرثروبودات *Arthropodes* شعبة مفصليات الأرجل سمي هكذا من قبل سيبولد Siebold وستانيوس Stannius 1845 .

ونترك جانباً البحوث العديدة حول ذوات القرون من العنكبوتيات ونكتفي بإعطاء لمحة موجزة عن علم الحشرات .

في سنة 1838 نشر بورمستر Burmeister مختصراً في علم الحشرات ضمنه حالة المعارف بها يومئذ . وكانت عديميات الأجنحة *Aptérygote* غير معروفة تماماً، وكانت في بادئ الأمر مجموعة تحت اسم تيزانور *Thysanoures* . ومن خلال التجميعات الجديدة المتتالية وتزايد المستندات ، حصلت تصنيفات متتالية ، قطعنها إلى مجموعات عدة . وكانت الرعاشات قد درست بشكل خاص من قبل E. Selys-Longchamps « ادمون دي سليس - لونغ شان » وارتفع عددها من ثمانية عشر نوعاً سنة 1758 إلى 400 نوع سنة 1853 . وتقدمت دراسة مطويات الأجنحة تقدماً كبيراً فتم إستعمال سمات

الجانيتاليا : وقام آ. جرستاكِر Gerstäker بوصف « التيمورة » سنة 1874 . ووسع فابريسوس Fabricius ، ولاتريل Latreille ، وبورمستر Burmeister ، وكارل ستال Carl Stal المعرفة بنصفيات الأجنحة Hémiptères . وقام آ. دوهرن بنشر أول كاتالوغ عنها سنة 1859 .

وكانت غمديات الأجنحة coléoptères قد درست كثيراً . ومن كبار المتخصصين بها آ. ديجان ، الذي نشر سنة 1833 كاتالوغاً يتضمن 22399 صنفاً من الكارابيد (فصيلة السلكوتيات . وحررت . لاكوردير Th. Lacordaire وصفاً لأنواع الكوليبتير في العالم (11 مجلداً ، 1854 - 1876) . وأكملة ف. شابويس . ونشر ش. جاكلين دوفال ول. فيرمير أربعة مجلدات حول الأجناس الأوروبية وهناك العديد من الأعمال قام بها المان وفرنسيون تستحق الذكر .

نشر ف. سميث الكاتالوغ حول غشائيات الأجنحة Hyménoptère المحفوظة في المتحف البريطاني ، وظهرت أيضاً كتب حول غشائيات الأجنحة في أوروبا وشمال إفريقيا الخ .

وكما هو الحال في غمديات الأجنحة ، درست حيوانات ثنائيات الأجنحة Diptère كثيراً . ويعتبر ج. و. ميغن (1764 - 1845) عموماً كأب لعلم الديبترولوجيا . ويجب أن يضاف الى اسمه اسم لاتريل (الذي ابتكر كلمة بروتوراكس (مقدم الصدر) وميزوتوراكس (وسط الصدر) وغيرها) واسم أودوين واسم ريومور .

وكانت الفغذيات قد درست كثيراً في القرن التاسع عشر . وتخصص بالأصناف المتحجرة والأصناف الحديثة رجال عظام . فخصصت أعمال كلاسيكية لعلم الأجنحة في الفغذيات من قبل سارس Sars (1844) وكورن Koren ودانيالسن Danielssen (1847) ول. اغاسيز L. Agassiz وكوفالفسكي Kovalevski ومتشنيكوف Metchnikov .

حلييات البطن وحلييات الظهر : إن دراسة حلييات البطن قد تقدمت تقدماً محسوساً في القرن التاسع عشر . فدرس آ. كوفالفسكي Kovalevski (1867) ومتشنيكوف ، وباتسون Bateson ، وسبنغل Spengel ، البالاتوغلوس (لسان بلوطي Balanoglosse) . ووصف باراند (1850) الغرابوليث Graptolithes . واكتشفت (الرانديولورا Rhabdopleura سنة 1866 من قبل و. ج. سارس سنة 1866 في جزر لوفتون ، وقام م. سارس (1868) بوصفها ثم تلاه المان Altman ، و. و. سارس و. ر. لنكستر الخ . واصطبذت القرصيات الرأسية Cephalodiscus على ظهر السفينة شانجر في مضيق ماجلان ودرست من قبل ماك انتوش Mac Intosh سنة (1887) .

ويين دي سافيني de Savigny (1816) ببحوثه التشريحية على الزقيات البسيطة والمعقدة ، وحدتها في البنية وقام لامارك (1816) فصفها في تونيكاتا التي ظل حالها غامضاً . واستطاع عالم الأجنة الشهير الروسي آ. كوفالفسكي Kovalevski ببحوثه الرائعة (1868 - 1871) أن يوضح هذا الحال . ويين أن « المخلقات » رغم بنيتها المدهشة هي من فصيلة الحلييات . وهذا مثل جيد على تطبيق القانون الاحيائي الوراثي « الاستجماع الوراثي » . وأثارت استكشافاته الرائعة العديد من الأعمال ، وخاصة أعمال أ. فان بينيدن Beneden (1884) ومدرسته ، وأعمال جيارد (1872) ، وأعمال لكانز - دوتيه - Lacaze-Duthiers وهالر Haller وكولييري Caullery (1895) ، ودبلا فال Della Valle (1898) الخ .

وكما هو الحال في حلييات البطن كانت حلييات الرأس موضوع بحوث مهمة جداً . فاكشف بالاس منها سنة (1774) مدببة الطرفين وجعل منها رخوية . وأشار كوستا Costa سنة (1834) إلى روابط القرى بين مدببات الطرفين ومستديرات الفم ، وهي من الاسماك الأكثر قدماً ولكنه خلط بين المعاليق بأطراف الفم وبين الغلاصم أو الخياشيم وسمى الحيوان « بالرميح » . وفي سنة 1836 حدد ياريل الحبل الظهري وسمى هذا الحيوان مدببة الطرفين . وبين سنة 1841 وسنة 1844 أثبتت أعمال المشرحين غودسير Goodsir ، وراتكي Rathke ، وج . مولر Müller التشابه الأساسي بين مدببة الطرفين وبين الفقريات الدنيا .

وفي سنة 1867 بين آ . كوفالفسكي أن نمو الزقيات يذكر بنمو حلييات الرأس . وهذا الاكتشاف المدوي قدم توضيحات عن العلاقات الممكنة بين الفقريات واللافقريات ، وقام ويلي Willey بدمج مجمل المعارف الحاصلة في دراسته وأسمائها : « مدببات الطرفين وسلفية الفقريات Amphioxus and the ancestry of the Vertebrates » .

علم الاحاث واللافقريات .- وعمل موازاة الأعمال المتعلقة بالأشكال الحية قدم القرن التاسع عشر مساهمات مهمة في معرفة اللافقريات المتحجرة (عولجت إحاثة الفقريات فيما بعد من قبل ج . بيفيتو Piveteau في الكتاب 2 ، الفصل 2 . وكذلك نمو علم الاحاث التنضيدية ، عولج سابقاً من قبل ر . فورون R . Furon في القسم 4 ، الفصل 2) .

وفي بداية القرن نشر لامارك تاريخه الطبيعي للحيوانات بدون فقريات (1815-1822) وأعطى مكانة كبرى لللافقريات البحرية المتحجرة وخاصة للرخويات المتحجرة . وشكل عمله أساس علم الرخويات malacologie . وظهرت بخلاف الصف الأول من القرن أوصاف لاجناس ، وبحوث متخصصة في الحيوانات وكانتالوغات في بلدان مختلفة .

في فرنسا نشر ج . ب . ديزاي Deshayes وصفاً للمواقع والأصداف المتحجرة في محيط باريس (أربع مجلدات، 1824-1837) ، في حين درس دوبييني d'Orbigny في كتابه الاحاث الفرنسية ، (14 مجلداً، 1840-1854) « عضديات الأرجل والرخويات والشوكيات المجلد في الجوراسيك وفي الكريتاسي . ووصف ج . سوري J. Sowerby . وج . كارل سوري J. de Carle Swerby الرخويات في بريطانيا (6 مجلدات ، 1812-1846) وفي ألمانيا ظهر كتاب حول الموضوع للمؤلف ي . فون . شلوتيم E. Von Schlottheim ، كما ظهر كتابان تركيبان لـ . هـ . ج . برون H.G. Bronn (Lathea Geognostica ، 1834-1838 ، دليل احاثي ، 1848-1849) وكتاب احصائي للحيوانات المتحجرة في ألمانيا وضعه ج . آ . غولدفوس A. Goldfuss . وج . مونستر (G. Münster) . نذكر أيضاً دراسة الرخويات التالية في أميركا الشمالية من قبل ت . آ . كونراد T.A. Conrad (1832-1833) .

في النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، عرف علم الاحاث نهضة كبرى عبر عنها ، في سنة 1847 ، تأسيس « الجمعية الاحاثية » Paleontological-Society في لندن ، وفي ألمانيا ، أنشئت دورية متخصصة باسم Paleontographica .

وهذه ، هي بعض النتائج الخاصة الحاصلة في إحاثة اللاقريات .

فمنذ 1835 صنف دوجاردال « المنخربات Foraminifères » بين وحيدات الخلية (بروتوزوير الحيوانات الأولى Protozoaires) . وتلت تصنيفات متنوعة تصنف دوريني (1832) المركز على غو الغرف وترتيبها .

في سنة 1825 اعترف ر. غرانت R. Grant بانتهاء الأسفنج الى المملكة الحيوانية ، ورغم اقتراح العديد من التصنيفات كان و. طومسون W. Thomson أول من بين وجود تشابه بنيوي بين اسفنجية متحجرة والإسفنج الصواني الحالي وساعد فحص الاسفنج بحالة رفائق ناعمة على تقدم دراسته . وفي سنة 1877 بين فون زيتل Von Zittel ان الاسفنجيات الحية والمتحجرة تشكل مجموعة وحيدة .

ومن بين النشرات العديدة المخصصة لمعاثيات الجوف نذكر الدراسات المتخصصة المهمة التي أجراها ج. هيم J. Haime وه. ميلن - ادوار M. Milne - Edwards حول المرجان ، وكذلك دراسة نيكولسن حول الستروماتوبوريد (Stromatoporidae) .

أما الكرينويد (شوكيات الجلد) فقد اكتشفها ج. س. ميلر J.S. Miller (1821) ، واكتشف فليمنغ البرعميات (1828) والكييسيات اكتشفها فون بوش Von Buch (1845) . وصنفها لوكارت Leuckart جيماً (1848) في عرق الشوكيات الجلد . في حين ابتكر س. لوفن S.Löwen مصطلحاً للدلالة على المناطق التي فيها السمك النجمي (المناطق القنابية) والمناطق المتداخلة معها .

أما عضويات الأرجل - والاسم ابتكره كوفيه (1802) - فقد درست من قبل فون بوش Von Buch (1834) وتيوفيل ديفيدسون Th. Davidson وج. باراند J. Barrande وواجن Waagen .

ومن بين النشرات العديدة حول الرخويات نذكر « كتاب الكونشولوجيا Conchologie » (17 مجلداً ، 1879- 1898) الذي وضعه تريون ويلسبري ، « وأبحاث في الباليو - كونشولوجي Conchology المقارنة » (13 مجلداً ، 1895- 1925) الذي وضعه كوسمان ، ثم « الجورا (1885- 1888) ، ثم « دي آمونيتن دي شوايشن جورا » الذي وضعه ف. آ. كستد F.A. Quenstedt ، ثم « النظام السمكي النهري في وسط بوهميا » (7 مجلدات ، 1852- 1899) الذي وضعه ج. باراند ، وأخيراً المجلدات الخمسة التي خصصها ف. ج. بيكت F. J. Pictet وج. كاميش Campiche لوصف المتحجرات الطباشيرية (1858- 1872) . ووضع هيات Hyatt (1884) تصنيفاً سنياً لاعتبارات انشائية ، في حين ادخل سويس Suess اسماً انشائية على « الأمونيت » ، ذات علاقة بالصفات البنيوية المحفوظة .

ودرس التريلوبيت كل من ج. و. دالمان J. W. Dalman (1827) ، وف. كستد (1837) وعولدفوس Goldfuss (1843) ، وبورمستر (1843) . وفي سنة 1852 ظهرت دراسة مهمة متخصصة قام بها باراند الذي كان أول من راقب يرفقات التريلوبيت . وابتداءً من سنة 1881 وصف س. د. والكوت Walcott أصنافاً جديدة

ووصف كل من أ. ف. جرمار E.F. Germar (المناطق الفحمية في ألمانيا) و ش. برونيارت

C. Brongniart (المناطق الفحمية في كومانثيري) الحشرات المتحجرة الأولى . أما المتحجرات الجميلة في سولنهوفن Solenhofen فقد درسها مونييه Meunier وأوبنهايم Oppenheim الخ ووضع س. هـ. سكودر Scuder (1886) دليلاً لكل الحشرات المتحجرة المعروفة .

الزواحف .. فيما يخص جدول الفقرات سوف نكتفي بذكر المراحل الكبرى فقط في مجال علم الزواحف وعلم الطير .

إن تاريخ الزواحف في القرن التاسع عشر يشتمل على حقتين متميزتين تماماً . الأولى هي حقبة دوميريل Dumeril وبيرون Bibron اللذين نشرتا كتاب علم الزواحف العام أو التاريخ الطبيعي الكامل للزواحف . وقد اشتمل هذا الكتاب على مجموعات متحف باريس (عشرة مجلدات 1834 - 1854) .

ويتوجب علينا أيضاً ذكر الفرنسيين لـ . فايان Vaillant وبوكورت Bocourt - وهذا الأخير عُرف بدراساته حول زواحف أميركا الوسطى - والألماني و. ش. هـ. بيتر Peters الذي نظم معرضاً مهماً للحيوانات باسم (ريز ناش موسميك ، خمسة مجلدات 1842 - 1848) ثم النمساوي ف. ستنداكشر Steindachner والروسي آ. ستروش A. Strauch .

ثم انتقل مركز علم الزواحف من القارة الأوروبية الى انكلترا حيث نشر ج. ي. غراي جدول زواحف المتحف البريطاني في « حوليات ومجلة التاريخ الطبيعي » ثم « مقدمات في أعمال الجمعية الزولوجية في لندن » (1825 - 1874) .

وكان مساعده آ. غونتر A. Günther الذي اكتشف أن التواتارا (سفينودون) ، متحجرة حية ، هي الممثل الوحيد الحي لفرع خطميات الرأس (1867) هو الذي أسس سنة (1864) « السجل الحيواني أو الزولوجي » الذي ما زال يُشر حتى اليوم . وحصل مساعده البلجيكي ج. آ. بولنجر للرماتيات وللزواحف نشرات عديدة تدور حول تصنيفها وحول أنواعها العالمية .

يضاف الى هذه الاسماء الكبيرة أسماء كل من : ح. اندرسون Anderson الذي جَدَّول حيوانات آسيا ومصر ، ثم و. بوتجر Boettger من فرانكفورت وتيودور إيمر Eimer الذي درس تأثير الوسط على الزواحف . أما تشريح هذه الحيوانات فقد درسه العديد من المؤلفين ومنهم ج. رتزيوس Retzius وش. جيجنبور Gegenbaur .

ومهدت بحوث هـ. سيوال Sewall حول مضادات السموم (1887) الطريق أمام الاكتشافات المهمة في القرن العشرين . وفي أميركا بدأ علم الزواحف حوالي سنة (1850) مع بيرد Baird ودي. س. كوب Cope ول. ستينجنجر Stejenger .

الطيور .. يصف علم الطيور ، خاصة في بداية القرن ، بحكم منهجيته ، الأنواع وفروعها . وفي أميركا ظهرت أسماء خمسة علماء في علم الطيور تعتبر ثلاثية : آ. ويلسون ، ش. ل. بونابارت ، و. سوان ، وج. ج. أودويون وت. نوتال . وبعد موت أودويون (1854) إنتهت هذه الحقبة . وشاهد النصف الثاني من القرن ولادة العديد من الكتب المتخصصة بالحيوانات المحلية ، خاصة الأوروبية

منها ، كما ظهرت دراسات متخصصة في مختلف مجموعات الطيور . وأهم المؤلفين هم مورتسن في الدانمارك ، وسيلوس في انكلترا ، وشابمان في الولايات المتحدة الأمريكية . وبعد هذه الحقبة الوصفية ، اتجه علم الطيور نحو شعب متنوعة .

وطبق هرمان شليجل Schlegel التصنيف المثلث الاسم على المتغيرات الجغرافية (1844) ، في حين أن بروش Bruch اقترح إطلاق هذا التصنيف الثلاثي على المجموعات الشكلية المنحرفة عن النمط . وشرع . س . ف . بيرد في سنة (1850) في الاستكشاف الطيور في أميركا الشمالية ودرس بشكل خاص التنوع الجغرافي بين الطيور ، واهتم معاونه ر . ريدجواي Ridgway بالمشاكل المتعلقة بالنوع وفرع النوع . ودرس ج . آ . ألين Allen صفات الطيور وعلاقتها في شروط الوسط . وكانت استنتاجاته لصالح التصور اللاماركي (عند لامارك) وهناك عالم آخر في علم الطيور هو أ . كوس Coues اهتم بنفس المسائل وتحققت أعمال مهمة حول نشرح الطيور من قبل ر . أون Owen ومن قبل العديد من الزوولوجيين الآخرين ، وتم عرض العديد من التصنيفات أيضاً ومنها : تصنيف الجواثم ، من قبل ج . مولر ، وهذا التصنيف بُني على بنية المصفاة أو الخنجر عند الطائر ، وتصنيف ت . هـ . كوسلي المرتكز على بنية وعلى موقع عظام الفك (1867) ، وتصنيف آ . هـ . غارود Garrod وبُني على ترتيب الأوداج .

واهتم هجرات الطيور علماء البيولوجيا . فرأى هـ . شليجل (1828) الطرقات وأماكن الإقامة في الشتاء ، بالنسبة إلى طيور أوروبا . ونشر السويدي اكستروم Ekström التواريخ الأولى لوصول وذهاب الأنواع المهاجرة . واقترح ج . آ . بلان Palmen نظرية حول طرق الهجرة (1876) . وأخيراً ومن أجل مراقبة الطيور أقام هـ . غاتكي Gätke في جزيرة هيلفولند ، وفي سنة (1891) لخص نظرياته بناءً على خمسين سنة من الفحوصات الدقيقة . وأقر آ . ريشو Reichnow وتلامذته بضرورة العمل المشترك . وقامت لجان لدراسة هجرات الطيور في ألمانيا (أول تقرير وضع سنة 1877) ثم في انكلترا وفي النمسا وفي أميركا . ولم ينهض علم الطيور ، الذي أدخله هـ . ش . مورتسن Mortensen (1890) نهضة حقة إلا في القرن العشرين .

وكان سلوك الطيور شاغل الأفكار . ففي النصف الأول من القرن أثرت أفكار ش . ل . بريهم Brehm وأفكار ولده آ . ي . بريهم Brehm تأثيراً كبيراً . وقد نشر هذا الأخير كتابه (1861 Das Leben der Vogel) ثم (1864-1869) وفيها أدب تجسيمي وعاطفي . وكانت الانتقادات الأولى قد صدرت عن ب . التوم (B. Altum) في (Der Vogel und sein Leben, 1868) . كان هذا الأخير معارضاً لداروين وضد الكاثوليكية ، واعترف بالسلوك الغريزي ، باعتبار أن النشاطات يجب أن تعتبر كاجوبة على محفزات خارجية . ولأول مرة عرّض لمفهوم الأرض . ولكن غالبية المفكرين ظلوا تحت تأثير بريهم Brehm فاستقبلوا أفكار التوم Altum بانتقادات غالباً ما كانت عدائية عنيفة . وفي سنة 1896 استرعت نظرية مورغان حول السلوك الغريزي الانتباه ، لأن الأفكار كانت يومئذٍ مستعملة للتقبل .

وازدادت المعرفة بالطيور المتحجرة إثراء . وكان أول « اركايو بتريكس Archaeopteryx »

مكتشف في سولن هوفن، سنة (1861) قد وصف من قبل أون. ودرس آ. ميلن ادواردز الطيور المتحجرة في فرنسا (أربعة مجلدات 1867-1871) ودرس و. ش. مارش الطيور الطباشيرية [المتكلسة] في أميركا الشمالية. ودرس ر. و. شوفت R.W. Shufelt علم العظام عند الطيور المتحجرة. نذكر أيضاً اكتشاف طائر عملاق من العصر الحديث السابق سمي «ذياتريما» (أ.د. كوب E.D. Cope، نيومكسيكو، 1876) واكتشاف الفوروهاكو العملاق وهو طير من العصر الثلاثي المتوسط في أميركا الجنوبية من قبل ف. اميخينو F. Ameghino.

في حين تألفت المجلات الأولى المتخصصة في علم تصنيف الطيور (جريدة الأورني تولوجيا في ألمانيا (1952)، «إيبس» في انكلترا (1959)، ثم نشرة نوتال أورني تولوجيكال كلوب في أميركا (1876؛ أصبحت «أوك» سنة 1883)، واورنيس (1885)، وتم التعاون الدولي وعقد أول مؤتمر دولي لعلم الطيور في فيينا سنة (1884).

IV - علم المتعضيات (الوحيدة الخلية) protistologie

إن مجمل الوحدات الخلية (protozoaires) كان مجالاً مهماً للزولوجيا وقد تم التعرف عليه واكتشافه كاملاً بخلاف القرن التاسع عشر على أساس المفهوم الجديد للخلية وبفضل تقدم الميكروسكوب وتقنيات علم الأنسجة. وكان أول علماء الزولوجيا الذين سبقوا هذه الحركة العلمية الكبرى هو الألماني ك. ج. اهرنبرغ (1795-1876)، الذي كان يجهل حتى ذلك الحين مفهوم الخلية فأعطى لبنية هذه الأجسام أوصافاً مغلوطة في أغلب الأحيان. ويعود الفضل إلى ف. دوجاردان بالتعرف على طبيعة وعلى خصائص المادة الأساسية في هذه الكائنات الحية وفي الخلية عموماً. وبعد عدة سنوات تم التعرف على البنية الوحيدة الخلية في كل الأجسام الدنيا. وسرعان ما اكتُشِفَ فيها عالم متنوع وواسع جداً يمثل أحد الأشكال الأساسية في الحياة. وإبتكر هيكل (Haeckel) المملكة المستقلة لما يسمى بالمتعضيات وهي تضم كل الأجسام الوحيدة الخلية. وفي الواقع تتضمن المتعضيات protistes مجموعتين: المتعضيات ذات الميول النباتية وسميت بروتوفيت Protophytes والمتعضيات ذات الميول الحيوانية أو protozoaires وأصبحت دراسة الـ protozoaires أحد الفروع الرئيسية في علم الحيوان أو الزولوجيا.

وارتدت الخلية، في البروتوزوير protozoaires تنوعاً أقصى في الشكل وفي البنية. ولم تكن شروط الحياة أقل تنوعاً، وغطت النباتات الأكثر تنوعاً: الأرض والبحر والمياه العذبة، دون ذكر الأشكال الطفيلية.

وتتضمن البروتوزوير عدة فئات. في الأساس هناك فئة جذريات الأرجل ومن بين هذه الأخيرة الأميب Amibes حيث تظهر الخلية بأبسط أشكالها ويدخلها النواة في حين يؤمن السيترولازم Cytoplasmes بتنوع شكله حركة الخلية ويشتمل على الجزيئات التي تتغذى بها الخلية. وتعيش الأميب حرة في الماء. وبعضها يتغذى في أمعاء الإنسان ويحدث فيه الديدنتريا الرهية والمعدية. وهناك مجموعة أخرى من جذريات الأرجل هي مجموعة المنخربات Foraminifères التي يفرز أكثرها قشرة كلسية، وهكذا

استطاعت أن تترك آثاراً متميزة ذات أهمية ضخمة . وهناك أشكال أخرى تشكل مجموعة الحيوانات الشمسية Heliozoaires التي تصنع هيكلاً مكوناً من إبر صوانية وترتدي أشكالاً متنوعة . وهناك مجموعة كبرى أخرى تشكل فوق صف السوطيات(*) المتحركة بواسطة خيط أو عدة خيوط (فلاجيل) وهي تؤمن وتنظم التنقل . والكثير من هذه الحيطيات هي طفيليات . وبعضها سام ممرض . ويرتبط بهذه المجموعة الليليّات Noctiluques وهي من أهم العوامل في فسفرة البحر . وهناك فئة أخرى من البروتوزوير هي فئة سبوروزوير Sporozoaires (المتجمّعات، الكرويات، البوغيات المخاطية، الخ) . وكل الطفيليات الداخلية في الأنسجة وفي الجهاز الهضمي وكل الوسط الداخلي هي أمكنة للاستضافة الأكثر تنوعاً . وهناك أخيراً الطبقة الكبرى لما يسمى بالنقاعيات Infusoirs ذات الأهداب والمزودة بثوب من الأهداب المتحركة والتي تعيش إما حرة في المياه الحلوة أو المالحة أو تعيش طفيلية .

التناسل والدورات .- لقد كانت البروتوزوير سواء في نيتها أم في شروط حياتها وتكاثرها موضوع بحوث متعددة . وهكذا تم التثبت - خارجاً عن أو بمجزل عن التنوع والفروقات الضخمة في البنية - من الدورات التطورية المحددة تماماً . وفي هذه الدورات تحصل تفاعلات إما هي مجرد تكاثر انقسامي في الخلية أو عن طريق التناسل اللاشقي ، أو تكاثر جنسي بواسطة اللامشجة (خلية جرثومية ناضجة) ثم الاخصاب ، ضمن ظروف وبأشكال متنوعة جداً تمت دراستها ، في معظمها في أواخر القرن التاسع عشر .

ضمن هذه الظروف الكثيرة التنوع يندمج فردان من وحدات الخلية متشابهان فيما بينهما أو مختلفان في الشكل والبنية - إلى حد ازدواجية تعادل ازدواجية الخلايا الجنسية في الحيوانات التوالية Métazoaires - مما يحقق ما يعادل البويضة وبالتالي أساس سلالة جديدة تنتشر بالانقسام البسيط المتتابع طيلة حقب يختلف طولها وقصرها .

وكان الرواد في دراسة المتجمّعات والكرويات الألماني ف. شودين F. Schaudinn و البولوني سيدليكي Siedlecki والفرنسي ل. ليجي Léger . وفي الدورة التطورية لهذه الأشكال يدخل الاختلاف في المشيجة ، وفي التناسل . وفي التفاعلات تبدو العملية الجنسية بشكل نزواج أي اقتراب وعلاصة مؤقتة بين طرفين مع تادل النوى فيما بينها ثم اندماج هذه النوى فيتحقق معادل الاخصاب .

ودراسة هذه العمليات كانت في أواخر القرن التاسع عشر موضوع دراسات متعددة ، تحتل دراسات اميل موباس Maupas المرتبة الأولى فيه .

وهناك دراسة مهمة حول المؤلفات أو التركيب تحت عنوان protozoa قام بها و. بونشلي O. Bütschli مؤلف كتب جليلة في البيولوجيا الخلوية . وقد نشرت هذه الدراسة في الموسوعة الحيوانية بعنوان : Bronn's Klassen und ordnungen des tierreichs .

إن علم المتعضيات (Protistologie) أصبح حقل اهتمام رئيسي في الزوولوجيا وأهميته قد

(*) عضيات حركية في بعض الخلايا المتحركة تكون طويلة نسبياً وتوازن القاعدة (المترجم) .

ازدادت، كما سئرى، من جراء أثره على علم الأمراض أو الطب الباطني. لأن بعض وحيدات الخلية الطفيلية على الثدييات وعلى الإنسان هي من أسباب الكوارث الكبرى مثل الملاريا ومرض النوم والعديد من الأمراض الوبائية .

٧ - الطفيلية وعلم الطفيليات

هناك سلسلة من الأحداث كان لها في الزوولوجيا أثر موحٍ ، وقد ثبتت بشكل خاص في أواخر القرن التاسع عشر، إنها الأحداث المتعلقة بالطفيليات، أي بالحياة الواجبة لبعض الأنواع على - أو في - أنواع أخرى محددة بدقة بالنسبة إلى كل حالة ، وعلى حساب هذه الأنواع الأخيرة . إن ظروف الحياة هذه خلقت في الطفيلي انحرافات وتحولات ضخمة أحياناً تجعل من الصعب تحديد ماهية الراشد منها . إن مجمل هذه الأحداث تشكل شهادة خاصة ذات معنى فيما يتعلق بحقيقة التطور . فالطفيلية ، بالنظر إلى تعدد أشكالها وسيرتها الغريبة في أغلب الأحيان ، وتطور مراحلها ، تشكل أحد الفصول الأكثر فريدة في الزوولوجيا . ودراستها تبقى في النصف الثاني من القرن التاسع عشر إحدى المساهمات الأكثر غنى ودلالة في هذه الحقبة .

المظاهر المختلفة للطفيلية . - هناك مجموعتان كاملتان في المملكة الحيوانية تتألفان فقط من الطفيليات مثل المثقبات Trématodes والشريطيات cestodes التي ترتبط ، بشكل حازم بالأشكال الحرة (البلائير Planaires) فتؤلف معها فرع البلاتيلميثات Plathelminthes . وفي طبقات أخرى ، مثل القشريات ، هناك مجموعات ثانوية ، رتب أو أسر أو أصناف خاصة تشكل طفيليات . وفيها عدا ذلك ، كما هو الحال في بعض الحشرات ، ترتبط الطفيلية بحقبة أساسية في الحياة أما حالة الرشد (Imago) فتبقى حرة . إن الطفيلية ترتدي إذاً مظاهر متعددة .

ومن هذه المظاهر الأكثر بروزاً أن الفرد ، في مجموعات متنوعة من الطفيليات ، يمر أثناء نموه ، بضيفين متتاليين محيين من أجل بلوغ حالة الرشد ، مع تكاثره في بعض الأحيان ، عن طريق اللاتزاوج أو الحثوية ، ووفقاً لطرق محددة ، في المضيف المؤقت . إن مثل هذه الدورة تبدو لأول وهلة وكأنها خاضعة لعوائق رئيسية ، يتم التغلب عليها .

وهناك مثل على التغيرات الضخمة والمتنوعة جداً التي تحدثها الطفيلية في بنية وفي تطور الأنواع ، وهذا المثل هو حدوث ازدواجية جنسية بارزة جداً لا توجد عند الأشكال الحرة في ذات المجموعة . إن الذكر يكون قرماً ويعيش فوق الأنثى أو في محيطها المجاور فيحفظ بالهيئة الأساسية للمجموعة التي ينتمي إليها الذكر في حين تتغير الأنثى تغيراً عميقاً .

وتشكل الطفيلية بأشكالها المتنوعة والمتعددة عالماً خاصاً تكشف أمام أعين الزوولوجيين في القرن التاسع عشر . والكثير من الطفيليات تتحول وتنشوء بحيث لا يبقى منها إلا ظلال يصعب حشرها داخل التصنيف العام ، لو لم تكن تعرف المراحل الأساسية في تطورها . ويفضل هذه المراحل ، وخاصة أشكالها اليرقية التي احتفظت بالسمة الأساسية للمجموع الذي هو الأصل ، يبدو منشأ هذه

الأنماط المتشعبة بشكل عميق وبارزاً. إن الطفيلية في مجملها قد حققت تطوراً ثانوياً حددت نقاط نشأته بشكل كامل. أما غائته فتنتج بشكل مؤكد عن ظروف الحياة التي عاشها الطفيلي فوق ظهر مضيفه. هذه الواقعة تشكل حجة رئيسية لصالح الأثر الفعال الذي تحققه ظروف الوسط في عملية التطور.

إن أبعاد تطور بعض الطفيليات بدت أحياناً غير متوقعة، فبدا اكتشافها وتحليلها الصحيح غير معقولين مما أثار جدلاً حاداً بين علماء الطبيعة الكبار.

وهناك مثل نموذجي هو تطور الساكولين *Sacculine* (وهي قشرية تنتمي إلى مجموعة ذوايبيات الأرجل كما يدل على ذلك شكلها اليرقي) داخل مضيفها السرطان (*crabe*) تسرب اليرقة ثم يخرج الطفيلي الراشد إلى الخارج بمظهر وبنية مضللين. هذه الدورة المكتشفة والموصوفة بدقة من قبل إيف دولاج قد أثارت بما فيها من غرابة ومن جدة الكثير من المنازعات من جانب أحد الأخصائيين الأكثر جدارة، هو أ. جيار *Giard*. أما الوصف الذي قدمه إيف دولاج *Delage* فقد تأكد بدراسة ثوم طفيليات أخرى مثل البلتوغاستر *Peltogaster* التي تعيش على صخريات الذيل *Pagures*.

الاكتشافات الرئيسية - خلال القرن السابع عشر والثامن عشر حقق علم الطفيليات تقدماً بطيئاً. وفي القرن التاسع عشر سوف يحقق ك. رودولفي *Rudolphi* (1771- 1832)، وهو سويدي، اشتغال بشكل خاص في ألمانيا، بالنسبة إلى علم الطفيليات ما حققه ليني *Linne* بالنسبة إلى الزوولوجيا. فقد نظم مجموعات من الطفيليات ثم حدد كل العينات وبخلال النصف الأول من القرن التاسع عشر تم اكتشاف العديد من الأجناس وتم وصفها من قبل دوجاردان *Dujardin* ودياسن *Diesing*، وكوبولد *Cobbold* وليدي *Leidy*، الخ. أما «الترشيتيلا» *Trichinella* فقد اكتشفت في اللحم البشري من قبل بيكوك *Peacock* (1828) وفي لحم الخنزير من قبل ليهدي (1846). واكتشف دوبيني *Dubini* (1842) الخيطيات البشرية، واكتشف هاك *Hake* الأكياس البيضية *Oocysts* في الكرويات عند الأرنب، واكتشف غلوج *Gluge* وغروبي *Gruby* (1842) المثقيبات أو السوتيمات *Trypanosomes* في دم الضفادع. واكتشف غروس *Gros* (1849) أول أميب بشري في الإنداموسا *Endamoeba gingivalis*.

وفي نصف القرن التاسع عشر طبقت الطريقة التجريبية في علم الطفيليات ونجح هريست *Herbst* (1850) في إمراس الحيوانات بدودة التريشيس. وحصل كوشمنستر *Küchenmeister* على الشريطيات الراشدة وذلك بإطعام حوصليات ذيل *Cysticercus* الأرنب إلى الكلاب. وازدهر علم الطفيليات التجريبي في ألمانيا (برون *Braun* وهامان *Hamann* الخ..). وفي فرنسا (بلاشار *Blanchard* ورياليت *Ralliet*) وفي إنكلترا (كوبولد ونوتال *Cobbold, Nuttall*) وفي بلجيكا (ب. ج. فانيبيندين *P.J. Van Beneden*). وفي السويد وسويسرا، وفي إيطاليا (غالي فاليري *Galli - Valerio*) وغراسي *Grassi*) وفي أميركا (كوب *Cobb* وكورتيس *Curtice* الخ..). أما رأس المدرسة الحديثة فهو (هـ. ب. ورد *H.B. Ward*). إن علم الطفيليات التجريبي إذ يفسر الدورات المعقدة لنمو الطفيليات قد أثبت دور الحشرات كمضيفة أو كناقلات للطفيليات. ولاحظ لوكرات *Leuckart* (1867) تطور الخيطيات *Protospirura Muris* وهي طفيلية تعيش على الفئار

ضمن حشرة أخرى . سنة 1869 بُسِّن تلميذه ملنيكوف Melnikov أن « ديبليديوم » الكلب تنمو في براغيثه ولاحظ فيدشكو أن غزو دودة غينيا (*Dracunculus medinensis*) تعيش ضمن قشرية هي سيكلوس .

واكتشف باتريك مانسون P. Manson ، أبو الطب الاستوائي الحديث ، في الصين غزو فيلاريا بنكسروفي داخل البعوض الذي يدخل الطفيلية بلسعه . وافترض فيها بعد أن حدثاً من نفس النوع يجب أن يحدث فيها حصص الملاريا وهي وباء يتسبب به هيماتوزوير أو بروتوزوير يعيش في الدم ، من نوع الرغسوية التي اكتشفت سنة (1880) من قبل لافيران Laveran . وبعد ذلك بعشرين سنة ثبتت فرضية مانسون فقد بين الطبيب العسكري الانكليزي ر. روس Ross (1898) ، أثناء إقامته في الهند ، أن الرغسوية الموجودة في دم الطيور تنتقل بفضل البعوض . وفي سنة (1898) أثبت الايطالي ج. ب. غراسي Grassi بشكل لا يقبل المراجعة أن عامل الملاريا ينتقل بواسطة البعوض من نوع أنوفيل .

إن دورة « الرغسوية » معقدة . فهي تنبت وتنتشر ، بشكل لاجنسي ، في دم الانسان وغيره من الثدييات أو الطيور ، فيشكل في النهاية عناصر جنسية لا تنهي نموها وتطورها الا داخل البعوض . وهنا يتم تفرق البرقات الذكور والبرقات الاناث ، المختلفة بعضها عن بعض . ومن البضة المتشكلة هكذا في الغشاء المعوي من البعوضة ، تنفرغ أفراد كثيرة العدد متحركة ولاجنسية ، تنتقل الى الغدد اللعابية في الحشرة ، وبعدها تزرع باللسع في الانسان أو في الطير . وتوجد أنواع مختلفة من هذه الطفيليات ، يتطور كل منها داخل الحيوانات المصيفة المحددة ، بعوض من جهة ، وثدييات أو طيور من جهة أخرى .

إن إعادة التكوين الدقيقة لمختلف الأجناس من الرغسويات قد أتاحت وضع تدابير وقائية . وأهم هذه التدابير هو تطهير المكان الخارجي ، بتجفيف المستنقعات حيث ينمو البعوض ، أو زرع أسماك (أمثال سمك الغامبوزيا) التي تلتهم يرقات البعوض . إن حل هذه المسألة الزوولوجية التي ساهم به عدة باحثين ، ومنهم الايطالي ج. ب. غراسي (1854- 1925) كان له انعكاسات طبية ضخمة .

في سنة 1893 لاحظ الاميريكان ت. سميث ، وكيلبورن ، أثناء تجاربهما حول غاذج انتقال هي تكساس عن طريق بعوض التيكس ، ولأول مرة ان البروتوزوير الطفيلي (بابيسيا) يقبل أن يستضيف مفصلياً أرجل Arthropode كوسيط وناقل للعذوى .

ومرض النوم منتشر جداً بين سكان افريقيا الاستوائية . وفي سنة 1890 اكتشف نفو Nepveu في دم المرضى وجود طفيلي من طبقة الفلاجيلي هو التريبانوسوم . وفي سنة 1895 بين بروس إن هذا البروتوزوير يدخل الى جسم الانسان عن طريق عقصة ذبابة هي تسي - تسي (غلوسينا بالبلس) . ونعرف اليوم عدة أصناف من التريبانوسوم التي تعيش متطفلة في مختلف الثدييات . وقد تم اكتشاف دوراتها ثم إعادة تكوين هذه الدورات بشكل دقيق في مطلع القرن العشرين .

ومنذ القرن السابع عشر عرفت فعالية الكينين على الملاريا . وفي القرن التاسع عشر تم استعمال

المضادات الدودية . وإلحدث الأهم هو اكتشاف الباحثين الايطاليين لمفعول التيمول على الحفطيات السترونجيليدي *Nematodes Strongylidés* (1880) . وتم ازدهار الاستطباب عن طريق الكيمياء ، ضد الاصابات الطفيلية في القرن العشرين .

وتم درس طفيليات مختلف أنواع الحيوانات أيضاً :

إن اعمال هس Hesse بين 1880 و1900 ، واعمال لاكار دوتيه Lacaze-Duthiers وي . ديلاج Delage ، انصبت على الصدفيات الطفيلية . ووصف سبنغل Spengel (1881) ، ثم ميرون Miron وسان جوزيف الحفطيات كثيرة الشعر ، وفوق فصيلة الأنيسيات التي تنمو الى أن تبلغ الحجم الراشد كطفيلية داخلية ، ودرس زيلر Zeller (1872- 1876) نمو التريماود بوليستوموم انتيجيرينوم ، وهي طفيلية مثانة البرمائيات والزواحف واكتشف الأصل الطفيلي للآلء الرخويات المرغرينية سنة 1852 على يد فيليي Filippi . أما الرخويات ذات الفروع الصفاحية ومعديات الأرجل الطفيلية فقد حلت من قبل Baur سنة 1861 . وأجرى بيجيرينك Beijerinck سنة 1882 مراقبات وتجارب على الجرب الذي تحدته غشائيات الأجنبية . الخ .

إن مبدأ الصراع البيولوجي قد استشعر من قبل إ. داروين سنة 1800 . واستخرج بلانشون Planchon وريلي Riley سنة 1886 كوشيل غريب ، « ايسيريا بورشاسي » ، التي اجتاحت بساتين البرتقال في كاليفورنيا وذلك بإدخال وتدجين كوشينيل استرالي « سوفيس كارديناليس Novius Cardinalis » تغذى بالاسيريا ، وهذا المبدأ قد طبق في حالات عديدة أخرى .

المؤاكلة والتعاون . - إن المؤاكلة أو الاتحاد المنتظم بين الأجناس دون أن يعيش أحدهما على حساب الآخرين ، كان موضوع العديد من الأعمال التي قام بها علماء من سمير Semper (1863- 1864) الى ايميري Emery (1880) وجيارد Giard وكوتير Coutière . وهناك أمثلة متنوعة حول المؤاكلة ، أصبحت اليوم كلاسيكية ، قد درست ورصدت ووصفت . من ذلك أن الأنواع أليفة النمل قد درست من قبل هوبر Huber (1810) ومن قبل وسمان Wasmann (1895) ومن قبل جانيت Janet وايشيريش Escherich . وكلمة تعاون أوجدها انطون دي باري Bary سنة 1879 ليدل على التقارب الحميم والثابت بين جسمين مع وجود علاقات متبادلة تؤمن لهما مكاسب متبادلة .

والاتحاد بين النمل والفطر قد درس من قبل بيلت Belt وآ. مولر Möller (1893) ومن قبل هـ. فون تيرنغ Thering (1898) . والزوكلوريل والزوكزانثيل هي طحالب وحيدة الخلية توجد بشكل دائم في السيتوبلازم لدى مختلف البروتوزوير وفي أنسجة بعض اللاقريات . وقد أشير الى وجودها منذ 1850 وتأكد تحديدها بصورة صحيحة باقتراح من قبل سينكوسكي Cienkowski ، على يد بيجيرينك Beijerinck . ان الورم الفطري في الحشرات ، المعروف منذ 1858 ، لدى القمل (الآفات) (هوكسل) والمدروسة من قبل بالياني Balbiani وميشنيكوف Metchnikov ، لم تؤول بصورة نهائية إلا في القرن العشرين أما الأورام الفطرية في الكرويات ، والتي أشار اليها ليدنغ Leydig (1850) فقد درست من قبل ميشنيكوف . وفي سنة 1877 اكتشف بوتنام Putnam ومونيز Moniez ان الأورام الفطرية تشتمل على نباتات . واكتشف وتعرف فيها لندنر Lindner على خثائر . أما التعاون بين النمل والباكتيريا فقد أشار

اليه بلوكمان سنة 1884 . ومنذ 1858 ذكر « كلابارد » التعاون بين رخوية هي : سيكلوستوما ايليغانس *Cyclostoma elegans* مع الباكتريريا .

VI - علم البيئة (الايكولوجيا)

ابتكر هيكل Haeckel في سنة 1866 كلمة ايكولوجيا *oecologie* - ومنها اشتق شكل كلمة ايكولوجيا *écologie* الحالي - للدلالة على علاقات الحيوانات بمحيطها ، وخاصة علاقات الصداقة أو العداوة بين الحيوان أو النبات مع هذه المحيطات⁽¹⁾ . وهناك كتابان مهمان رسبا تاريخ علم البيئة : المورفولوجيا التجريبية (مجلدان ، 1897 - 1899) ووضعها دافنبورت Davenport ، وحياة الحيوان (1879 - 1881) لسمير Semper .

أثر العوامل الخارجية .. عبر القرن التاسع عشر ، وفي أواخره بشكل خاص اهتمت بحوث عديدة متأثرة بأفكار لامارك ، بأثر عوامل البيئة على فيزيولوجية الحيوانات ونموها . وعلى هذا درست مضاعيل انعدام الأوكسجين (كوهن Kuhne ، 1864) أو تزايد العامل من الغاز كربونييك (ديمور Demoor ، 1894) على حركة السيترولاسم في الأميب . ولاحظ فيرر Fayrer (1872) أن الأفاعي لا تموت بسببها الدائي ، في حين ذكر اهرليك Ehrlich (1891) أن الحيوانات تظهر نوعاً من الاعتقاد على السموم .

وبين بيزولد Bezold أن مقدار الماء في الأنسجة يختلف بحسب الأنواع (1857) . ولاحظ كوك Cooke (1895) المقاومة التي تبديها رخويات الصحارى ضد الجفاف . وتم تحليل أثر المحلول الملحي دي التركيز المختلف على الأميب (كوهن Kuhne 1864) ثم على الفلاجيلات مثل الأرتيميا والهليوزوير واللاسرجيات . ومنذ 1816 لاحظ بودانت Beudant أن الرخويات الشواطئية تقاوم بصورة أفضل الحلولة ، مما تفعله الأشكال البحرية . ولاحظ ادواردز سنة 1824 أن شرغوف الضفادع لا ينمو في الظلام . ودرس بيكلار Beclard ، سنة 1858 ، العلاقة بين طول موجة الضوء والنمو . وفي سنة 1888 ذكر سيوم Seebohm تأثير الضوء على هجرات الطيور . واستخدم تأثير الضوء على عملية البيض لدى الطيور الأليفة في اسبانيا سنة 1802 ثم في أميركا الشمالية سنة 1895 .

ويبحث سمير Semper (1881) في العلاقة بين درجة الحرارة ونمو الأجسام . وتم رسم أولى الخطوط البيانية الحرارية من قبل ليلي Lillie ونولتون Knowlton سنة 1897 . ودرس ادواردز سنة 1824 ، وبرت Bert سنة 1876 درجات الحرارة الدنيا والقصى الملائمة للحياة . ويبحث دوير Doyère سنة 1842 أثر الجفاف على المقاومة في درجات الحرارة العليا ، لدى المكورات (روتيفير) وعسل

(1) بالنسبة الى هيكل ، تشكل الايكولوجيا علم السلوك الحيواني ، وهو علم سماه ي. جيوفروا سان هيلر ، منذ 1854 « اتولوجيا » *Ethologie* . ويعد هيكل تغيرت كلمة ايكولوجيا بمعناها بصورة تدريجية ، لتقرب من المعنى الحالي ولهذا من الأفضل اطلاق كلمة اتولوجيا على العلم الذي سماه هيكل ايكولوجيا . ان الصوت النادرة حول الايكولوجيا الحيوانية وكذلك المظاهر الأولى التي تتم بحماية الطبيعة سوف تدرس بذات الوقت مع الأعمال المشابهة في القرن العشرين .

التاردigrاد . واينكر موبوس Mobius كلمة أوري (eury) وكلمة ستينوترم Sténotherme للدلالة على الأنواع التي تتحمل تغيرات واسعة في شروط البيئة ، وكذلك على الأنواع المرتبطة بظروف محددة وواضحة .

التلون الدفاعي أو الحامي .- إن وجود ودور ظاهرات التلون الذاتي التجانسي قد سبق ودرس . فعند 1830 أشار ج . ستارك الى التغيرات في لون الأسماك ، وأعلن شو Shaw ان هذه التغيرات تحمي السمكة ضد آكلاتها . ووضع ليستر Lister سنة 1858 علاقة بين الرؤية وحالة التجانس اللوني عند الضفدع . وأكد بوش Pouchet على هذه العلاقة وأشار إلى مشاركة الجهاز العصبي التحاي فيها .

السلوك :- لاحظ كبار الرحالة أمثال والاس Wallace وهودسون Hudson وبيلت Belt وباتس Bates ، أثناء رحلاتهم ، سلوك الحيوانات المعروفة قليلاً وقدموا وصفاً لها . ونشر اسبيناس Espinas (1877) مجلداً حول المجتمعات الحيوانية . وقدم ويتمان Whitman توضيحاً (سلوك الحيوان ، 1898) في حين حرر دافنبورت Davenport كتاباً متوسطاً حول عمليات الانحراف أو الانتحاء (1897) .

دراسة السكان .- إن المفاهيم الشهيرة عند مالتوس Malthus قد أعلنت سنة (1798) وسنة (1803) : فالأفراد يتكاثرون وفقاً لمتواليّة هندسية في حين أن كميات الطعام لا تتزايد إلاّ وفقاً لمتواليّة حسابية ويتبع عن ذلك اختلال بالتوازن يثير صراعاً على الحياة . وكان لهذه النظريات تأثير عميق على د رويس . وعرض كينيت Quetelet (1835) وفرهولست Verhulst قانون تزايد السكان مستقداً من قبل دوبلداي Doubleday سنة (1841) . وقدم و . فار Farr (1843) صيغة لمعدل الوفيات تبعاً لكثافة السكان هي . $(R = c D^m)$ باعتبار R = معدل الوفيات و D = كثافة السكان و c و m ثابتين .

وفي سنة (1852) نشر آ . سبنسر Spencer « نظرية حول السكان مستقاة من القانون العام لخصب الحيوان » وقد أدخل هذه النظرية ضمن كتابه « مبادئ البيولوجيا » (1867) . ونذكر أيضاً البحوث التي قام بها هنس Hensen من أجل تحديد كمية علق البحر ضمن مساحة معينة ثم معرفة تغيراتها .

المشاركات والجماعات Associations et communautés .- درس فوربس Forbes توزيع الحيوانات في المياه الإنكليزية وفي مياه بحر إيجه (1843-1844) ؛ واكتشف أن مختلف المناطق العميقة تنوي أنواعاً ذات خصائص مميزة . إنه أول عمل بيثوي معبر عن المظهر الديناميكي للعلاقات بين الأجسام والمحيط . وقسم ج . د . دانا (1852-1853) وباكار Packard وفيريل Verril المنطقة الشواطئية من المحيط الى مناطق حيوانية . وميز فيريل . وسميث (1874) بين عدة مناطق مأهولة بأنواع خاصة ، وكان هذا السكن ذا علاقة مع ظروف المكان . وضمن تصور حديث ، حلل ك . موبوس Mobius توزيع المحار . واينكر كلمة « بيوكونور » للدلالة على الحيوانات أو النباتات المتوازنة التي تعيش في منطقة أو في وسط معين . ووافق س . آ . فوربس على مقترحات موبوس وبين أنه توجد طائفة مصالح بين القاصين والفرائس .

إن مجموعات الجزر قد استلقت انتباه داروين . إن أمراضهم الاستيطانية الخاصة أوحث له بالدور المهم الذي تلعبه العزلة في ولادة الأنواع . وفرضية أثر العزلة الجغرافية ، والتي وضعها باتس Bates

(العالم الطبيعي في منطقة الأمازون ، 1863) سوف يتولى توسيعها موريز واغنر Moriz Wagner (في كتابه Die Entstehung der Arten durch räumliche sonderung (1889) . كتب واغنر : « بدون عزلة لا يوجد نوع » وفي القرن العشرين أصبحت البحوث حول التعيين النوعي أو التنوع مهمة ومتنوعة .

ونذكر أخيراً بعض وقائع تصنيفية اصطلاحية . سنة 1899 استخدم لانكستر Lankester كلمة « بيونومي Bionomie » ليدل على مجمل من الوقائع تتعلق بالمدى الجغرافي الذي تتردد عليه الحيوانات . وعلى تناسلها ، ودراسة التكيف العضوي . وأخيراً قسم شروتر Schröter وكيرشسر Kirchner (1896 - 1902) علم البيئة الى قسمين كبيرين : علم البيئة الذاتية الذي يدرس العلاقات البيئية للأفراد ، أي العلاقات بين الفرد والوسط ، ثم السينيكولوجيا أو علم العلاقات البيئية بين مجموعات الأفراد . وكلمة أوتو - ايكولوجيا ، وكلمة ميبي - كولوجيا ، ما تزالان تستعملان .

في بداية القرن العشرين كانت الايكولوجيا علماً قتيلاً . ولكنه تثبت تماماً وبرز فيه متخصصون عظام أمثال واسمان Wasmann ، وداهل Dahl ، وويلر Wheeler . وبعد ذلك أصبح تطوره سريعاً .

VII - دراسة الحيوانات البحرية والمستنقعية

دراسة الحيوانات البحرية هي إحدى مميزات الزوولوجيا في القرن التاسع عشر .

ومنذ سنة 1819 أشار سيرجون روس Ross ، بخلال رحلة بحرية في خليج بافين (1817-1818) الى وجود حيوانات في أعماق البحار العميقة (ديدان في عمق 1800 متر ونجوم بحر في عمق 720 متراً تقريباً) ومرت هذه الملاحظات غير منظورة نوعاً ما ، إذ في سنة 1847 ، جرى الكلام عن الاكتشاف الكبير الذي حققه ج . ك . روس الذي عثر ، أثناء رحلة في المحيط المتجمد الجنوبي (سنة 1839 - 1840) على حيوانات بين أعماق تتراوح بين 720 و1800 متر .

وساعدت بعض البعثات البحرية البعيدة ، في الباسيفيكي بشكل رئيسي ، وفيها ساهم علماء طبيعة استكشفوا الشواطئ وجمعوا حيوانات ، على هذه البحوث بشكل واسع . وحقت فرنسا سلسلة من هذه البعثات ، بخلال العقود الأولى من القرن منها : « الجغرافيا » ثم « العالم الطبيعي » بفضل المالمين بيرون Péron وليسيور Lesueur ، ثم « أورانيا » و« الفيزيائية » (1817-1820) بفضل كوا Quoy وغيمارد Gaimard . ثم « الصّدف » (1822-1825) بفضل ليسون Lesson وغارنوت Garnot « والاسطرولاب » (1826-1829) بفضل كوا وغيمارد . ثم « لابوينت » (1836-1837) بفضل ايدوكس Eydoux وسوليت Souleyet . ثم « فينوس والاسطرولاب والزيلي » (1837-1840) بفضل همبرسون Hombron وجاكينوت Jacquinot . ومن بين البعثات غير الفرنسية نذكر بشكل خاص الرحلة المحيطية الكونية التي قامت بها سفينة « بيغل » (1836-1839) التي لعبت دوراً حاسماً في حياة داروين العلمية ، وبعثات ج . د . دانا على متن « اليوربواز » (1836-1839) ، وبعثة ج . د . هوكر Hooker على « اربوس والترو » (1839-1843) وبعثة ت . ه . هوكلي على « الراتلسناك » (1846-1846)

(1850) ، والرحلات الكبرى التي نظمها الروس بقيادة كوتزيبو Kotzebue .

وفي منتصف القرن اهتمت مجموعة من علماء الزوولوجيا بشكل خاص بالحيوانات البحرية . وأعطى هـ. ميلن - ادواردز Milne - Edwards (1800-1885) مع ف. اودوين Audouin (1797-1841) دفعا قويا لدراسة الحيوانات البحرية على شواطئ الأطلسي وشواطئ المتوسط . وكان الأول قد نشر « دروس في التشريح وفي الفيزيولوجيا المقارنة » (أربعة عشر مجلداً ، 1847-1881) . ويجب أيضاً ذكر آ. دي كاترفاج Quatrefage (1810-1892) وذكر هـ. دي لاكاز - دوتيه Lacaze-Duthiers (1821-1901) في فرنسا . كما يجب ذكر كافولين Cavoline وس. دل شياج في إيطاليا delle Chiaje . و. ي. فوربس Forbes ، وسر وفيل طومسون Thomson وسيرجون موري Murray وت. هوكسلي Huxley في انكلترا وم. سارس Sars في النرويج ؛ وج. ستينستروب Steenstrup في الدانمارك . وس. لوفن S. Löwen في السويد وب. ج. فان بينيدن Beneden ، في بلجيكا ، وجون مولر Muller وهـ. راثكي Rathke في ألمانيا .

محطات زوولوجية ومختبرات بحرية .- إن هذه النهضة في دراسة الحيوانات البحرية قد تشجعت بفعل إنشاء محطات زوولوجية ، على شواطئ مختلف البلدان ، محطات أتاحت دراسة معمقة للحيوانات البحرية : تشريح مقارن ثم تكوّن الأجنة (Embryogenie) ومشاكل متنوعة ذات طبيعة عامة . كما ساعدت هذه المحطات على تكوين العديد من الباحثين الزوولوجيين الشبان .

أنشئت أول محطة من قبل ب. ج. فان بينيدن في مدينة أوستند سنة 1843 ثم تلتها محطات عديدة أخرى في كل من روسكوف (1871) وبانولس (1881) من قبل لاكاز - دوتيه وفي مدينة ويمرو (1874) من قبل آ. جيارد A. Giard ، وفي مرسيليا ، وسان فاست لاهوغ (ي. بيريه Perrier (1881) . وفي أركاشون (1883) ، وفي لوك - سور - مير (ي. دي لاج Delage) وتاماريس ، وسيت ، وموناكو (الأمير البرت الأول) ، وفيل برانش والجزائر وسالمبو الخ . وفي إيطاليا تأسست المحطة المهمة في نابولي سنة 1874 من قبل العالم الزوولوجي الألماني انطون دوهرن Dohrn (1840-1909) ولعبت على الصعيد الدولي دوراً مثمراً جداً في كل مجالات الزوولوجيا (المنهجية ، التشريح ، الفيزيولوجيا وعلم الأجنة) . وبعد المحطة الأميركية الأولى التي أقيمت سنة 1873 من قبل ل. آغاسيز Agassiz على شاطئ جزيرة بينيكيز ، تلت في سنة 1886 محطة كبرى في منطقة وودس هول ، وهي موقع مثالي فوق كاب كود . وعدا عن المركز المهم للبحوث الذي أقيم في بلايموث (1881) أنشئت محطات أخرى على الشواطئ الإنكليزية ، وخاصة محطة سانت اندروز في اسكتلندا من قبل ماك انتوش Mac Intosh وفي روسيا أنشئت محطات سياستوبول على البحر الأسود ومحطة مورمانسك فوق المحيط المتجمد الشمالي ، وأنشئت مختبرات بحرية أخرى في اسبانيا (ستاندير) ، وفي استراليا وفي اليابان وعلى شاطئ أنام (هاترانغ) .

الاستكشافات البحرية .- في النصف الثاني من القرن التاسع عشر توسع حقل الزوولوجيا البحرية بفضل الاستكشاف ، الحاصل ، زيادة على حيوانات الشاطئ الأوروبي والهضبة الأوروبية ، في أعماق المحيطات الكبرى التي بقيت حتى ذلك الحين غير مستكشفة ووضعت الخارطة الأولى

الباثيمتري (سبر أعماق البحار) للمحيط الأطلسي الشمالي سنة 1854 من قبل م. ف. موري Maury الذي اهتم أيضاً بالبيولوجيا البحرية . وقد ساد الظن يومئذ أن الحياة لا يمكن أن توجد فيها وراء الأعماق التي تزيد عن 600 إلى 800 متر . ولكن اكتشاف حيوانات متعلقة فوق كابل تلغرافي سحب من أعماق البحر المتوسط (2160 متراً) في سنة 1859 حل على القيام بأعمال استكشاف الأعماق التي لا يدرك قعرها . وبرزت هذه الحركة في بادئ الأمر خاصة في انكلترا ، تحت تأثير نشاط سير ويفيل طومسون W. Thomson (1830- 1882) . وبعد الرحلة البحرية التي جرت على السفينة لايتنغ Lightning (1868) والسفينة بوركوين (1869) ، في الأطلسي الشمالي تلت البعثة الكبرى لشلنجر Challenger . ولقد غرقت هذه السفينة الأطلسي والباسيفيكي من سنة 1873 إلى 1876 وكان على متنها و. طومسون وج. موري وهـ. ن. موسلي وويلموسهن Willemoes-Suhn . وقد قدمت هذه البعثة العديد من الملاحظات حول الأعماق الكبرى كما قدمت مجموعات ضخمة وأرست مجلداتها الخمسون من القطع 4 المتضمنة محاضرها ، أسس علم خارطيات البحار Océanographie (وقد أوجد هذا الاسم سنة 1912 من قبل فورل Forel) .

وانجزت مشاريع من ذات المستوى في العديد من البلدان : في فرنسا جرت الرحلات البحرية لسفينة ترافايور وتالسمان (1881- 1883) وفيها بعد ، وعلى صعيد أكثر تواضعاً جرت رحلة كودان Caudan (1894) . وفي الولايات المتحدة جرت رحلات بلايك (1877- 1880) ، ورحلة الباتروس (1899- 1900) التي نظمها آ. أغاسيز . وبرزت ألمانيا في هذه الحركة بفضل بعثة فالديفيا (1899- 1900) التي نظمها وجهها ك. شون K. Chun . وبرزت الدانمارك بعثة انغولف (1895- 1896) وبلجيكا برحلة السفينة «بلجيكا» (1897- 1899) في المحيط المتجمد الجنوبي الخ .

واستكشف الأمير البرت الأول ، أمير موناكو الأعماق البحرية فوق ظهر سفيتي : الهيرونديل ، والأميرة أليس ابتداءً من سنة 1885. أما المواد التي جمعها فقد أودعت في المتحف المحيطي لموناكو . وشكلت هذه المواد أساساً للعديد من البحوث المتخصصة والمهمة .

وفي آخر حد من القرن التاسع عشر قامت البعثة الهولندية المهمة المسماة سيبوغا Siboga وقد نظمها ماكس وير Max Weber الذي استكشف الأعماق في أرخبيل ماليزيا .

الأعلاق Plankton [الحيوانات والجراثيم البحرية السطحية] .. وهناك مظهر آخر من مظاهر البيولوجيا البحرية سوف يجذب الانتباه . في سنة 1828 قام فوهن طومسون بنشر شبكاته الريفية فوق سطح بحر أيرلندا، فأسر أجساماً ميكروسكوبية عائمة . وجرت اكتشافات مماثلة قام بها اهرنبرغ Ehrenberg وج. مولر Müller ثم من قبل ليلجيبورج Lilljeborg سنة 1853 ثم سارس Sars . هذه الحيوانات البحرية والنبات البحرية العائمة إما فوق سطح البحر أو في مستويات مختلفة العمق تشكل ما سمي بدلانكتون (وهو تعبير ابتكره هنسن Hensen سنة 1887) . وقد أغنى العمل اليومي في المحطات البحرية ، وسرعة معارفنا حول هذه الحيوانات الشريرة .

هذه الحيوانات ذات الأشكال الراشدة الشفافة تنتمي إما إلى فصائل معاثيات الجوف مع قتاديل البحر والسيفونوفور ، وهي أشكال مستعمارية ذات أفراد متعددة الشكل ، أو هي تنتمي إلى

المغلفات Tuniciers مع السالبس ومتلثات الأجسام المضيفة⁽¹⁾ والدولولم .

ولكن العنصر الرئيسي في العلق يتكوّن من أجسام ميكروسكوبية إلى حدٍ ما تتضمن ، إلى جانب الأغاط الراشدة ، العديد من الأشكال اليرقية تتطابق مع راشدات تعيش فوق الأعماق . ولدراسة هذه الأشكال اليرقية أهمية كبرى بالنسبة إلى علماء الزوولوجيا . يضاف إلى هذه العناصر ذات الطبيعة الحيوانية عناصر ذات طبيعة نباتية (الأشنات أو الطحالب الميكروسكوبية وبصورة خاصة Diatomées) .

ونظمت بعثة كبيرة : Plancton Expedition (1889) فوق سفينة ناسيونال من قبل مجموعة من الزولوجيين الألمان لدراسة هذه الحيوانات البحرية .

وتدلّ الاشارات السابقة على أهمية وعلى غنى الدراسات البيولوجية البحرية التي تمت في القرن التاسع عشر . وقد ساعد على هذه الحركة التقدم الذي حصل في مجال الميكروسكوبيا وبفضل التصور العام للتطور الذي نسق بين الوقائع المرصودة ، والذي أعطى للانومييا (علم التشرح) المقارنة ولعلم الأجنة قيمة ومعنى جديدين ، وإيجائين بشكل خاص .

الحيوانات المائية المستعقبة وعلم الليمنولوجيا (علم البحيرات) . - منذ سنة 1850 لاحظ سيموني Simonyi التشعبات الحرارية في مياه البحيرات . ولكن فوريل Forel ، بفضل دراسته الحيوانية لبحيرة ليتمان (1869) ، هو المؤسس الحقيقي لعلم البحيرات (وهو الذي أوجد كلمة ليمنولوجيا سنة 1892) . وفي سنة 1870 اكتشف الدانماركي . ب. ي. مولر Müller الحيوانات المائية - النباتية التي تعيش في البحيرات . وبدأت البحوث الليمنولوجية التي قام بها ويسمان Weismann سنة 1877 . كما أكملها بليسي غورث Plessis-Gouret بأبحاثه سنة 1885 . وأنشأ انطوني فريتش Fritsch أول محطة بيولوجية للمياه الحلوة في بوهيميا . وتم استكشاف بحيرة سويزبور (العليا) [الولايات المتحدة] سنة 1871 من قبل س. ي. سميت . وصدرت أربعة منشورات مهمة في أواخر القرن التاسع عشر فدلّت على ازدهار الليمنولوجيا : بحيرة ليتمان (1892-1895) لفوريل ، وكتاب « البحيرة ككون صغير The Lake as a microcosmos » (1887) لهوريس ، ثم (1899) Das Leben der Die georgische Binnengewasser للمبرت Lampert ، كما صدرت مجلة حول الأعمال الحديثة سنة 1899 (لوارد Ward) .

(1) إن الرقيق أو الاضاعة هي خاصة تمتلكها أجسام حيطية عديدة (حاسة الليليات ، وهي برونورير . من مجموعة السوطيات) والعديد من الحيوانات البحرية التي تعيش في الأعماق مثل بعض أنواع الثنائيات وأيضاً الحيوانات البرية ، خاصة الحشرات . إن الأوالي الفيزيائية الكيميائية للاضاعة قد درست جيداً من قبل ر. دوبوا Dubois على الفولاد Pholades . ونسب أن إنتاج الضوء يحصل بفعل خلية دياستارية (لوسيفراز lucifrase) على مستحضر من الأفرار القندي (لوسيفيرين Luciférine) . أما التنوير فقد درس بصورة رئيسية من 1870 إلى 1899 لدى حيوانات متنوعة من قبل كل من بانسيري Panceri ، ويل Bell ، وبكار Packard ، وبيدارد Beddard . . .

VIII - الجغرافيا الحيوانية

إن كتاب Die geographische Verbreitung der Thiere الذي نشر سنة 1853 من قبل ل. شمarda Schmarida في جامعة غراتز قدم توضيحاً ممتازاً للجغرافيا الحيوانية في القرن الثامن عشر والنصف الأول من القرن التاسع عشر. وعرض أنماط وأسباب توزيع الحيوانات. وناقش مفعول العوامل المتنوعة (الحرارة والضوء والهواء والكهرباء والمناخ والدورات الفصولية ، والغذاء وطبيعة الأرض والارتفاع ... الخ .) على توزيع الحيوانات . إن الأنواع البديلة (أي التي يحمل بعضها محل البعض الآخر) قد ذكرت سابقاً . ويعالج المؤلف فكرة المناطق الزوولوجية ويذكر إحدى وعشرين منطقة أرضية وعشر مناطق بحرية ، تتميز بحيوانات متفقا أحياناً ، بصورة عشوائية تقريباً .

إن تحديد المناطق الحيوانية المختلفة قد شغل المفكرين ، فحاول ب. ل. سكلاتر P.L.Sclater (1858) أن يوضح هذا التحديد سناً لتوزيع الطيور ، وحاول آ. غونثر A Gunther (1858) أن يوزعها سناً لتوزيع الزحافات .

وأحدث ظهور كتاب داروين « أصل الأنواع » (1859) تغييراً كاملاً في اتجاه العمل . لقد تأثر داروين كثيراً بتوزيع الحيوانات فوق القارات وفي الجزر . وبعدها انتهى عصر الوصف . وانصب الاهتمام بصورة أكثر على التفسير وعلى مناقشة الظواهر ، ضمن منظور توزيع الحيوانات . وقد اهتم آ. ر. ولاس A.R. Wallace الذي عاش سنوات عديدة في المناطق المدارية بتوزيع الحيوانات اهتماماً كبيراً . ومن سنة 1860 حتى سنة 1876 حرر دراسة مهمة بعنوان : « التوزيع الجغرافي للحيوانات » (مجلداً) . ويعتبر هذا الكتاب اليوم عتيقاً جداً ، بسبب تغير التصنيف والتقديمات الجديدة في مجال علم المتحجرات ، وولادة علم البيئة . وهناك مؤلف آخر لولاس Wallace « الحياة الجزيرية » (1880) ، احتفظ بجذته حتى اليوم . خلال كل هذه الحقبة كانت أفكار ولاس مهيمنة .

في سنة 1868 اقترح ت. هـ. هوكلي Huxley توزيع المناطق الزوولوجية الى ثلاث مناطق كبرى سماها شخص مجهول « آركتوغا » Arctogaea (وهي مناطق : القطبية القديمة ، القطبية الحديثة ، الشرقية ، والآسيوية) والنيوفا Neogaea (المنطقة الاستوائية الجديدة) والنوتوغا Notogaea (استراليا) . وأدخل هيلبرين Heilprin (1887) منطقة قطبية حديثة Holoarctique ، تجمع المناطق القطبية الأقدم والمناطق الوسطى (Néarctique) . وهذه الرسيمة تتوافق في خطوطها الكبرى مع التقسيمات المعتمدة في الكتب المصرية .

في القرن التاسع عشر ولدت أيضاً القارات الجسور المفترضة التي من شأنها أن تفسر التشابهات الحيوانية في قارات منفصلة اليوم بل وبعدة جداً عن بعضها البعض . فالمشابهات الملحوظة بين حيوان جنوب انكلترا وحيوان أيرلندا وإسبانيا والبرتغال حملت ي. فوربس Forbes (1846) على تصور قارة اجتازت الأطلسي . وتم أيضاً تصور قارات جزيرية أخرى في مختلف المحيطات خاصة قارة « غوندوانا Gondwana » (ماركو Marcou وا. سويس E. Suess) الخ . التي دلت الأعمال الحديثة على عدم وجودها ، وعلى عدم وجود قارة واسعة في القطب الجنوبي قيل انها جمعت بين مختلف القارات وزيلندا

الجديدة (ج. د. هوكروت. ه. هوكسلي 1870).

ويجب أن نذكر أيضاً أعمال س. ه. ميريام C.H. Merriam حول الدراسة البيولوجية للقارات (1890-1898).

أقام ميريام نظرية حول المناطق الحيوية وحول الشروط الدنيا والقصى الملائمة للحياة، وقدر وجود تطابق بين مختلف الارتفاعات في الجبال وبين المناطق المناخية القارية. وقد انتقدت هذه النظرية في القرن العشرين وأصبحت موضوع بحوث جديدة.

وفي السابق كان آ. فون هومبولد Humboldt في كتابه «Ansichten der Natur» (1808) وفي كتابه كوسموس (1854) قد اهتم بالمساحات التي من شأنها أن تكون مأهولة بسبب ظروف المكان. وعالج لث. سمير Semper نفس الموضوع في كتابه: Die Natürlichen Existenzbedingungen des Thieren (1880). وفي دراسة لعلم المناخ التحجري التطبيقي، على الجغرافيا الحيوانية بعنوان (Ueber Tundren und steppen der Jetzt-und Vorzeit 1890) نشره Nehring التركيب الحيواني الحالي والحجري في سهول التندرا والصحب، وتأثير تقدم وتراجع جبال الجليد القارية نحو العصر البليوسين.

وفيا عدا كتاب شماردا السابق الذكر، كان التوزيع الجغرافي للحيوانات موضوع أعمال عديدة شاملة منها أعمال ك. ل. روتيمير (L. Rüttimeyer): Über die Herkunft unserer Thierwelt (1867) وأعمال آ. هيرين (التوزيع الجغرافي والبيولوجي للحيوانات، 1887) وأعمال آ. ي. أورتمان (Ortmann Grundzüge der marinen Tiergeographie, 1896).



إن الصفحات السابقة تدل على التقدم الضخم وعلى التوسع العظيم الذي حققته الزولوجيا بخلال القرن التاسع عشر. وبقي التقدم مستمراً، بشكل لا يقل روعة، عما سبق، في النصف الأول من القرن العشرين الذي تميز أساساً بالانتقال إلى الصعيد التجريبي، لغالبية المسائل التي عولجت فقط حتى ذلك الحين على صعيد الملاحظة الوصفية البسيطة.

هذا التوسع المدهش كان له نتيجة هي التخصص الضروري بالنسبة إلى علماء الزولوجيا. ثم إن تركيب ومؤلفة المعارف المكتسبة اقتضى الآن تعاون العديد من المؤلفين. وهذه الواقعة كانت قد برزت في أواخر القرن التاسع عشر. ونجد تعبيراً محدداً عنها، في ذلك الحين، في نشر موسوعة شاملة زولوجية باللغة الألمانية تحت اسم «Brown's klassen und ordnungender Tierreichs». ومع ذلك استمرت الزولوجيا في معظمها، في أن تكون علماً ذا موضوع محدد جداً لم تنفك أهميته وتغلفه يشنان أكثر فأكثر.

الفصل الثالث

علم النبات (بوتانيك)

I - المورفولوجيا العامة (علم التشكل الحيواني والنباتي)

إن هذا القسم من البوتانيك ، المرتبط في أغلب الأحيان ارتباطاً وثيقاً بالبحوث المتعلقة بالخلية ، قد نما نمواً ضخماً في القرن التاسع عشر مما ساعد بشكل واسع على إعطائه وجهه الخاص .

وفتح بريسودي ميريل Brisseau de Mirbel الطريق سنة 1802 ، وذلك بنشر مؤلفه الشهير « كتاب التشريح وعلم الوظائف النباتيين » وبواسطة رجال أمثال تريفيرانوس Treviranus ، ومولدهناور Moldenhawer ، وبنهاردي Bernhardt فرض علم التشكل (مورفولوجيا) نفسه في الحال . ثم توضح بفصل مجموعة من العلماء الموهوبين معظمهم من الألمان أمثال : شمير ، برون ، وبخاصة موهل ، وشلبدن ، وهوفمستر ، وناجيلي ، وباري ، وساش ، وستراسبورجر ، وغوبل . . .

ودخل تصور غوته Goethe - واضح كلمة مورفولوجيا بالذات - بصورة طبيعية في إطار الفكر المثالي المعادي للميكانيكية والذي ازدهر في ألمانيا في بداية القرن التاسع عشر . وتولدت بعض النظريات الكبرى يومئذ تحت تأثير : « فلسفة الطبيعة » : نظرية التحول (التناسخ : غوته) ، ونظرية التصاعد الحلزوني (شمير Schimper وبيرون Braun) .

الفيلوتاكسي (Phyllotaxie) أو ترتيب الأوراق - وتوسعاً ترتيب الأغصان والفروع - هو علم يدل على أحد الأوجه الأساسية في الشكل وفي البنية . وهو ذو ارتباط بعلم التنسيق (أورغانوغرافيا) ويعلم الأجنة (امبريولوجيا) . عند مستوى العقدة تكون الأوراق إما متقابلة أو متحلقة حول محورها بشكل دواري ، أو تكون ، في أغلب الأحيان منفردة . في هذه الحالة الأخيرة يمكن بسهولة تحديد العمر النسبي للورقة ، فتكون الأقدم واقعة في موقع أسفل فوق الغصن المعين . وبالاتقال ، بالنظر فوق الغصن من ورقة الى ورقة ، نرسم لولباً حلزونياً . وبالإسقاط فوق سطح تبدو ورقتان متساويتان

مفصولتين بزاوية معينة أقصاها 180 درجة : ذلك هما المفهومان الأساسيان : اللولب المولد ، ثم التفارق ، في النظرية الكلاسيكية المقررة من قبل ك. ف. شمير وآ. برون Braun حوالي سنة 1830 . وإذا توجب مثلاً ، الدوران ، مرتين حول الغصن ، لكي تصبح الورقة السادسة واقعة فوق الأولى ، يجري الكلام عندئذٍ ، عن النمط $\frac{2}{5}$ (أي دورتان وخمس وزيقات) . وهو كسر يعبر أيضاً عن زاوية التفارق : 72 درجة . إن هذه القوانين الرياضية ، المحسنة من قبل ل. وآ برافي Bravais (1837-1839) أصبحت بعد ذلك شائعة الاستعمال في المورفولوجيا الوصفية .

لقد فتحت طريق خصبة للعناية بفضل بحوث هوفمستر Hofmeister وشوندنير Schwendener حول تحديد موقع الأوراق على الغصن وحول بعض مظاهر عمل البراعم . وكانت النظريات الميكانيكية لهذين المؤلفين ، وإن بدت غير كافية ، مفيدة جداً بالنسبة إلى البحوث الحديثة ، ولو كقرصيات عمل . منذ 1868 وضع هوفمستر ، صيغة المبدأ الأول الكبير في هذا المجال : كل ورقة تولد الورقة ضمن الفضاء الأكبر الحر الموجود بين الأوراق الأخيرة التي سبق تكوينها . في هذه المسافة (المنطقة) ، كما اعتقد هوفمستر ، تتمتع الجوانب الحلوية بمطاطية قصوى . أما س. شوندنير فيلجأ إلى مفهوم الضغط : تولد الورقة الجديدة في الموضع الذي يكون فيه الضغط الناتج عن الانبثاق الورقية الأخيرة ، في حدوده الدنيا .

نظرية الزهرة .- إن نظرية اللولب المولد تنطلق في بدايتها من « فلسفة الطبيعة » ومن تصورات غوته . وبفضل غوته أيضاً ارتسمت النظرية حول الزهرة ، والتي ليست أقل كلاسيكية . إن اللولب المولد يمتد داخل الزهرة حتى يصل إلى السداة (عضو التذكير) التي تحمل عبيرات ذكورية ، وحتى يصل إلى الحباء أو الوحدات الحاملة لغيريات التأنث : وتمثل مجموعة السداة والحبيبات أوراقاً زهرية « سبوروجينية أو سبوروفيلية » . إن هذه النظرية حول التحول (ميتامورفوز) تلقت أساساً علمياً بفضل البحوث التشريحية التي قام بها فيليب فان تيغم Tieghem (1871) : كان الجذع ، والورقة والجذر في نظر آ. برون وحدات مستقلة عن بعضها البعض تماماً . وتبنى « فان تيغم » هذا المفهوم الذي لم تثبته البحوث اللاحقة ، على الأقل بهذا الشكل الجامد . ويعود الفضل في خلق مناخ ملائم للمفاهيم التوحيدية إلى ك. غوبل الذي لم يرَ أي فرق أساسي بين الجذع والورقة .

بنية الأنسجة ونموها .- في جميع جهات البحث المورفولوجي تطور الصراع ضد « فلسفة الطبيعة » . وقاد هذا الصراع في بادئ الأمر هيجوفون موهل ، وهو أكبر المشرخين في ذلك العصر . وبحوثه ، وإن اقتصر على البنية الراشدة ، قادته إلى نتائج ذات أهمية من الدرجة الأولى حول الطبيعة الحلوية في الأوردة (1831) وحول بنية وحول البنية العرضي للأغشية الحلوية ، وحول التشريح المقارن للجذع في النباتات الوحيدة القلقة والشائبة القلقة ، وحول بنية القشر والأدمة .

وفتحت مع شليدين Schleiden (1838) وناجيلي (1842) ، وهوفمستر (1849، 1851، 1867) أبعاد واسعة ، وتركز الاهتمام على تاريخ التطور . وبدا شليدين ميالاً إلى المناظرة ، فلعب دوراً ضخماً في انتقاداته . وعرض في كتابه : « مبادئ البوتانيك » (1842) المبادئ المنهجية للمستقبل القريب .

وتبدو بحوث ناجيلي حول الأنسجة (مريستيم meristème ، وهي كلمة من ابتكاره) عند

الطحالب ، والسرخسيات والخزازيات ، وحول قوانين الانشطار عند القمة ، وحول بنية وغو الأغشية الخلوية ، مكتسبات مهمة في البيولوجيا . وبكلمة « مريستيم » قصد « ناجيلي » المناطق النواتية المتميزة بقدرة الخلايا على الانقسام بنشاط (ذرى الأغصان ، داخل البراعم) . يرى ناجيلي Naegeli ، الذي أسس مفهومه سنداُ لدراسته للكريبتوغام Cryptogames ، أنه يوجد داخل كل مريستيم خلية ذروية قمية ، محورية متميزة تنطلق منها كل خلايا الجذع ، والأوراق ، بواسطة الانقسام المتتالي . وبدت هذه النظرية التي اعتمدها هوفمستر (1851، 1857) غير ملائمة في حالة الفانيروغام Phanerogames ، عل اثر أعمال شوندينر، وخاصة هنستين Hanstein (1868، 1870) . واقترح هنستين ، فيما يخص النباتات العليا نظرية جديدة سميت نظرية المستوجيات ، وعمومها لا يوجد خلية ذروية أساسية ، بل ثلاث خلايا ، وكل واحدة من هذه الخلايا المحورية الأساسية تعطي عن طريق الانقسام ثلاث وريقات أو هستوجينات . وكل هستوجين تشكل أقساماً محددة في النبتة . ويعود الى ل. كوش Koch (1891) الفضل في كشف مظاهر جديدة في تنظيم المريستيمات في فصيلة عاريات البذور ، وفي انه وجه البحث نحو المفاهيم الحديثة . ونفى نظرية ناجيلي حول الذرات الحكيمة المتعلقة بالبنية الخلوية للأغشية الخلوية ، كاستباق تصوري جريء لما كشفته الدراسات الحديثة الجارية بواسطة الميكروسكوب الالكتروني . يرى ناجيلي أن الغشاء الخلوي في الخشب ، يتكون من كتل صغيرة من السلولوز ، هي الذرات الحكيمة أو « المسيل » ، المركبة كما تركيب الأحجار التي يبنى بها الحائط ، وترص معاً بمادة معقدة ذات أساس خططي (لينين) . أما الفراغات بين الذرات الحكيمة فيمكن أن تنميه [من ماء] وان تنتفخ ، في حين لا تستطيع المسيلات أو الذرات الحكيمة أن تفعل ذلك . وفسر ناجيلي هذا الشكل تواجد مناطق لا شكل لها ، ومتبلورة في الأغشية ، مع ظاهرات التمدد والتقلص في الخشب وهي ظاهرات تتضمن أكثر في العرض ، مما هي في الطول ، باعتبار أن المسيلات تتمدد بحسب المحور الأكبر في الخلية .

وقد لعب هوفمستر دوراً أكبر أيضاً ، وهذا حدث كما سنرى في العديد من الاتجاهات . وإذا كان قد اصطدم ، من جراء ضخامة تصوراته وجذبتها ونفاذها ، في بعض الأحيان ، بالكبار من معاصريه أمثال شليدن وبرون وناجيلي بالذات ، فإن كتبه المهمة (Vergleichende untersuchugen der Keimung 1851; Allgemeine Morphologie 1867) تعتبر أحجار زاوية في علم البوتانيك . والألمان أيضاً هم الذين نشروا الكتب الأبرز في نهاية القرن : ج. ساش (1874) ، وإيكلر Eichler : (1877 Vergleichende A. de Bary) ، ثم آ. دي باري (1878- 1875) ، ثم آ. ه. فون فوتنغ H. Von. Vöchting (1878) وج. هابرلندت (فيزيولوجيا وتشرح النبات ، 1884) وي ستراسبورجر (1894) وك. غوبل (أورغانوغرافيا النباتات 1898) .

ومن بين الكتاب الفرنسيين يجب ذكر ج. ب. باير (تكوّن أعضاء الزهرة ، 1852) ، وفيليب فان تيمم (1884) ، وكانت أعمال فان تيمم حول بنية النباتات وخاصة صياغته لنظرية المسلة ، ذات أهمية أساسية ، خاصة في التحليل البنوي للسرخسيات . وقد استعبدت هذه النظرية وطورت من قبل الأميركي ا. ك. جيفري Jeffry . وقدمت فرنسا مساهمة مهمة جداً في متحجرات النبات ❶ خاصة أدولف برونييار ، وبرنار رينولت ، وف. ش. غرند - أوري Grand'Eury ، ور. زيلر

وسابورتا Saporta ، وش. ي. برتران وو. لينيه Lignier ، ولكن هذا الحقل العلمي كان له ممثلون مميزون في خارج فرنسا منهم : ف. انغروج. ه. ر. غوبرت Goeppert وه. سولس - لوباخ Soims-Laubach ، وو. ش. وليامسون .

II - التصنيف الطبيعي . منهجية تصنيف نباتات الكرة الأرضية

كان لنظرية داروين وولاس على تصنيف النباتات انعكاسات عميقة جداً . إذ فجأة اتخذت الأنواع والأصناف والأسر وبصورة أعم « التكونات » أصناف « من مختلف المراتب والتي جهد في اكتشافها المنهجون »، المعنى الأعمق والموضوعي ، أي معاهداً العلمي الحق . إن التصنيف لم يعد يتعارض مع « التطور » بل أصبح التعبير عنه .

ولكن يذكر أن التصنيف لم ينتظر الداروينية ليوجد ، ولكنه لم ينفك بتحسناً تبعاً للدراسات التحليلية حول تركيب وتطور وأنبوبة الأجسام . لقد كان لوضع النظرية الخلوية ، وإبداع نظرية الأنثوية /نسبانية ، وتعاقب الأجيال ، بين 1820 و1855 ، الآثار الأكثر حسناً في المفاهيم التصنيفية الجديدة . ولا بد من التشديد على أن البحوث الأساسية عند هوفمستر - الذي وضع وحدة بنية حاملات الرحم والفانيروغام (الطحالب : الفوجير والموس ، وعاريات البذور ومغلفاتها) ، وعند شليدن وناجبي ، وتولان ، وهي بحوث دلت كلها على الأهمية الأساسية التي لعلم الأجنة وللتطور ، قد سبقت ، وإلى حد ما قد بشرت ، بالثورة الداروينية .

ويجب أن نلاحظ أيضاً ، مهما بدا ذلك مستهجنأ ، أن الداروينية لم يكن لها آثار آتية مباشرة على علم المنهجية . فهذا العلم هو في الواقع جهاز ثقيل مزود بجمود ضخم ، كما يمكن أن يكون مغلوطاً عند مستوى تفرعاته ، دون أن يكون رغم ذلك ذا مساوئ مزعجة على صعيد الاستخدام : وما تزال أنظمة لينى وديفري ، وإن بدت مصطنعة ، تحتفظ بقيمة ضخمة في مجال العلم المعاصر . إذ يتوجب التفريق ، من جهة بين التسمية ووصف الأنواع والأجناس ، وهي تفرعات في التراتبية الدنيا ، ومن جهة أخرى بين البحث عن نظام إجمالي مع ما فيه من تفرعات متتالية انطلاقاً من الوحدة العليا في عالم الأحياء ، هاتان المهمتان المشروعتان بالوتيرة المتسارعة للاستكشاف ويتقدم العلم التجريبي وخاصة تقدم التقنية الميكروسكوبية ، توبعتا بنشاط ، خلال القرن . وأتاح هذا الجهد نشر العديد من البحوث والأعمال حول نباتات الكون : بين 1789 و1850 تم وصف حوالي 72 ألف نوع جديد تقريباً ، والعدد الإجمالي للأصناف المعروفة بلغ 92 ألفاً . وبين 1825 و1845 ، أي بين « مراتب النباتات » لمؤلفه ش. آ. أغارد Agardh ، والتعديلات الأخيرة التي أجريت على نظام لندلي Lindley ، تم تقديم أكثر من عشرين نظاماً ، وأمكن الكلام عن « معرض أنظمة » حقيقي .

1 - أطر تصنيف المملكة النباتية ، وبصورة خاصة الفانيروغام Phanérogames

آ - ل. دي جوسيو de Jussieu ، وبداية القرن التاسع عشر . - مارست الطريق الطبيعية التي قدمت في كتاب « Genera plantarum » لمؤلفه آ - ل. دي جوسيو (1789) ، وهي الأولى من نوعها ،

تأثيراً كبيراً بخلال النصف الأول من القرن . وهي تركز بصورة أساسية على جملة من الصفات مستمدة من مختلف أقسام النبات ، ومتعلق بعضها ببعض . وليس لهذه الصفات أي شيء من التميز إذا أخذت مجزئاً . ولكن « التقييم التصنيفي » الذي تناولها لأول مرة عمل على التنسيق بين العائلات والأنواع بحسب علاقاتها الطبيعية ، وهو مشروع خاف منه ليني . إن نظام جوسيو يركز على نظام تورنقور الذي يتم فصل حول معيار التوزيع ، ولكنه أدخل في الاعتبار العلاقات ، الاعتبار الذي اعترف به راي Ray ، وكذلك اعتبار الموقع النسبي الذي يحتله التوزيع أو الايتامينات بالنسبة إلى المدقة : حالة نمو الورقة في أسفل الجذع (التوزيع أو أعضاء التذكر » الايتامينات » الواقعة تحت المبيض) ، الشو اللانيوي (التوزيع أو أعضاء التذكر مركزة على المبيض) ، الشو المحيطي (التوزيع والايتمينات أو أعضاء التذكر مزروعة حول المبيض) . وبواسطة هذه المعايير أقام جوسيو نظاماً يتضمن خمس عشرة فئة ، أغلبها مضطئع ، ومئة مرتبة (هي في الواقع أسراً أو عائلات) .

وبالإجمال فتح نظام جوسيو الطريق أمام التصنيف الحديث . ولكنه ، كما أشار ساش ، أعطى للفلفات قيمة أكثر من القيمة التي تستحقها في الواقع . ولم يكن جوسيو يرى فرقاً بين الفطر (وهو بدون فلفات) والزئبق ، كما لا يرى فرقاً بين هذه البتة الأخيرة ونبتة الصفيرو أو الخوذان (ريتونكول) . وكان علماء تلك الحقبة يميلون للأسف ، وهو ميل أقل بروزاً عند جوسيو مما هو عند غيره ، إلى إعطاء خيمات الإلقاح الصفات المعروفة لدى الباتات ذات الأزهار ، كما أنهم لم يروا أي فرق أساسي بين هذه المجموعات .

أوغست ب . دي كاندول de Candolle ور . براون Brown . - بفضل العالم الاسكتلندي الكبير روبر براون (1773- 1858) تقدم التصنيف بشكل جدي خالص . كان براون عالماً طبعياً في بعثة فلندرز إلى استراليا (1801) ، وقد أقام عدة سنوات في هذه القارة وجلب منها مجموعة ضخمة (4000 صنفاً أغلبها كان جديداً بالنسبة إلى العلم) . ومنذ سنة 1810 (Prdromus Florae Novae Hollandiae) تصور نظاماً يختلف قليلاً عن نظام جوسيو ، ولكن اكتشافه الرئيسي هو اكتشاف السمة الأساسية في الجيموسبارم : كون البويضات عارية وهي سمة استفاد منها هوفمستر وبرونيارت . والعلم مدين له ، من جهة أخرى ، بدراسات مهمة جداً عن عائلات عدة منها الصقلابيات الفربيوبات ، والسحلبات (وابتكر أربعين صنفاً من هذه الأخيرة) ، ثم التحليلات Gramineae .

في سنة 1813 ظهرت دراستان مهمتان إحداهما للمتخصص بالطحليات ، لاموروك Lamouroux ، والأخرى للعالم أوغسطين ب . دي كاندول حول : « النظرية الأولية حول البوتانيك » . فجعلتا من هذا التاريخ معلماً مهماً في تاريخ التصنيف .

كان كاندول (1778- 1841) تلميذاً لديفونتين Desfontaines ، واشتهر بأنه أعد الطبعة الثالثة لكتاب لامارك وعنوانه « الفلورا الفرنسية » . أما كتابه « النظرية الأولية » فهو كتاب كبير جداً ، عرضت فيه لأول مرة ، وبشكل متقن ، مبادئ التصنيف ، أو ما سماه كاندول بالكسونومي وهو اسم بقي مستعملاً . وفيه اقترح نظاماً ينطلق من نظام جوسيو بشكل خالص ، ولكنه عرض فيه عدداً كبيراً جداً من الأسر : 161 في طبعة 1819 ، و 213 في الطبعة الأخيرة (1844) . ومن مستجدات

هذا الكتاب إدخال الصفات التشريحية : فهناك النباتات الوعائية أو ذات الأوردة والأخرى هي النباتات الخلوية (مثل الطحلب ، والكبديات ، والأشنة والفطر) . والنباتات الوعائية تنصنف خارجياً المنشأ (أوعية مرتبة بشكل طبقات وحيدة المركز) أو ذوات الفلقتين ، وهناك داخلية المنشأ (أوعية مرتبة بشكل ضمام) أو وحيدة الفلقة . وفي تجمع الأسر استخدم المؤلف بشكل أساسي موقع وصفة التوزيع أو البتلة ومير بين «ثالامي فلوره» (بتلات مفصلة وهيبوجين = نائنة على أسفل) والكاسيات الزهر (بتلات محيطة أو لابنوية المنشأ) ثم الكوروليفلور (بتلات ملتحمة وهيبوجين) .

حسن نظام كاندول بشكل كبير نظام جوسيو ، ولكنه تضمن العديد من النواقص الجديدة . والمؤلف يعترف بأنه لم يضع إلا « هيكلًا متقناً » للتوصل الى غاية هي بنظره « دراسة التناظر الخاص ضمن كل عائلة ، وكذلك العلاقات بين هذه العائلات » . ولكن كاندول لم يكن فقط فيلسوف التصنيف . فقد هدف الى صياغة مؤلف ضخم شامل لكل الأصناف المعروفة ، فوضع المجلدات السبعة الأولى لكتاب شهير هو «Prodromus Systematis naturalis regni vegetabilis» وقام بنشرها سنة 1824 . وبعد موته سنة 1841 تولى ابنه الفونس بيرام Pyrame (1806-1893) إدارة النشر ، واستطاع بمعاونة العديد من الاختصاصيين أن ينهي العمل سنة 1873 . هذا العمل الذي يحتوي على سبعة عشر مجلداً سوف يمتد تحت شكل (Monographiae phanerogamarum) ، موسوعة نشرها الفونس دي كاندول وابنه كازيمير (9 مجلدات ، 1879-1891) .

« إستعراض الأنظمة » . إن نظام كاندول ، المرتبط بدقة بعمله الموسوعي ، وهو عمل أساسي يرجع اليه بشكل دائم ، لا يمكن إلا أن يشكل معلماً في عصره .

« في معرض الأنظمة » الذي تل ، انفصلت ثلاثة مؤلفات موقعة من قبل اندليشر Endlicher ، وادولف برونيارت ولندلي . ونشر العالم النباتي س. اندليشر (1804-1849) كتاب « العام في النبات » (1836-1840) وكان تأثيره ضخماً وفيه يقسم المملكة النباتية الى عديمات الساق والجذر (تالوفيت Thallophytes) (الطحالب ، والأشنة ، والحزاز ، والفطر) والى ذوات الجذر (كورموفيت Cormophytes) (نبات العجوز ، حزاز ، والسرخس ، نباتات ذات حبوب) ؛ ويعتبر نظامه حول الصنوبريات (1847) وهي نباتات تحتوي ، حسب تصنيفه على الرجرجيات Gnétacées وعلى الجنكيات Ginkgo معلماً مهماً .

ومع برونيارت تم التركيز على الفاصل بين باديات الزهر (الفانيروغام) ، أو النباتات ذات الحبوب ، واللازهرريات (الكريبتوغام) . وأعيد ترتيب « بستان النبات في المتحف » وفقاً لهذا التصنيف سنة 1843 . ومن جهة أخرى الغى برونيارت العديمات التوزيع التي قال بها جوسيو ، والتي يعتبرها برونيارت من متعدّدات البتلات غير الكاملة ، كما أنه أبرز الفائدة من الصفات المستمدة من السويداء (ألبوم) . ورسم ، حول العديد من المواضيع الأخرى ، مثلاً في دراسته العاريات البذر (الجيمنوسبرم) أو في تصنيفه للافطار ، بعض التوجيهات التي ثبتت فيما بعد ، ولكن تصوراته لم تخل دائماً من أخطاء ومن تمويه .

يعتبر جون لندلي (1799-1865) ، مؤلف كتاب شهير حول النظرية والممارسة في البستنة . ومنذ

1830 وفي كتابه « المملكة النباتية » الذي طبع عدة طبعات (1846، 1847، 1853)، اقترح نظاماً فضله الكبير كامن في أنه استطاع انزال نظام ليني Linné المستعمل حتى ذلك الحين في انكلترا عن عرشه . وفيه تبدل اللازهريات (الكريبتوغام) كنبات خثوية ، والنظام في جملة قليل الارضاء .

الجنينة العامة لبنتام وهوكر Le Genera Plantarum de Benthams et Hooker . -- بين 1862 و1883 ظهر كتاب « البستان العام » (ثلاثة مجلدات) لبنتام وهوكر . وهذا الكتاب وإن كان لاحقاً لكتاب « أصل الأنواع » فهو يرتبط من حيث الفكر بالمرحلة السابقة .

وجورج بنتام (1800- 1884)، وهو المؤلف الرئيسي، قاوم لمدة طويلة، أن لم يكن أبداً، المفاهيم الداروينية، وأبرز وجهات نظره وفضلها على وجهات نظر هوكر الدارويني منذ الساعة الأولى. وقد سبق لبنتام أن نشر العديد من الكتب: « وسط حول النباتات البريطانية »، و« بحوث متخصصة حول الأسر ». وهو مؤلف كتاب « النباتات الاسترالية » (سبع مجلدات، 1863- 1878). وأثناء كتابة هذه البحوث المتخصصة حول الأسر، لتقديمها لمعرض (برودروموس Prodrum) كاندول، بدت له ضرورة كتابة « البستان العام »، لأن الأنواع كانت يومئذ معرفة تعريفاً سيئاً. وبالتعاون مع هوكر، بدأ سنة 1857 هذا العمل الضخم الذي استمر طيلة ربع قرن.

كان سير جوزيف دالتون هوكر (1817- 1911) ابناً لوليم هوكر، أول مدير لبساتين كيو، وهو أحد أكابر المنسقين المعروفين. وقد ربط اسمه بالعديد من النشرات ذات الأهمية الأولى، وبخاصة بالنشرات الثلاث التالية: « النباتات في القطب الجنوبي » (6 مجلدات، حجم أربعة، 1844- 1860): ثلاثة آلاف نوع موصوفة، منها 1095 مرسومة على 530 لوحة؛ نباتات الهند البريطانية (سبعة مجلدات، 1872- 1897): 16000 نوع موصوفة. وأخيراً دليل كيو. وبحكم أنه رحالة ومسوق وكاتب أبحاث متخصصة فهو يعد من جملة العلماء القلائل ذوي العظمة الأولى، وعلى مستوى الطليعين الأوائل في الداروينية الذين منهم ليل Lyell وهوكسلي Huxley.

لا يعالج كتاب الجنينة العامة، أو النباتات العامة إلا فصيلة باديات الزهر (الفانيروغام)، وهو يومئذ يشتمل على 97000 نوع، وهو يختلف بشكل محسوس، كنظام أو نهج، عن نظام كاندول. والكتاب يشتمل على ثلاثة أقسام كبرى: (1) ذوات الفلقتين، (2) العاريات البز، (3) وحيدة الفلقة. وذوات الفلقتين تقسم إلى متعددات البتلة (1- الزهيرات ذات الكرسى، 2- الزهيرات ذات القرص، 3- الكأسيات الزهر)؛ وإلى متحدة التويجات (1- مبيض داخلي، 2- مبيض خارجي، وفوقه خباءان أي عضوان للتأنيث، 3- المبيض الأعلى، ومعه خباءان)؛ وإلى وحيدة الغطاء أو الدثار (العديئة البتلات). والعلامة الفارقة في قرصيات الزهيرات (Disciflores) (كرامي) (أقراص) بشكل صحن)، في مجموعة كاملة من الأسر (سذابيات Rutacées، والغرنوفيات ثنائية الفلقة ذات البتلات الخمس Géraniacées، والبالادريات الأميركية البطميئات Anacardiacées، الخ). هي علامة جديدة ومفيدة. إنما في الكتاب عيب كبير: أن مكان « العاريات البز » غير موضوع.

الأنظمة الانسالية .. فُتحت الحقة الحديثة بنشرات أ. و. ي. اكلر Eichler (1839- 1887)، وآ. انغلر Engler (1844- 1930) وك. برانتل Prantl. وكانت نشرات أكلر، مشبعة بمفهوم التطور،

وكانت بداية للعمل العظيم الذي قدمه أنغلر . ميز إيكلر اللازهريات (عديمات الساق والجذر) : الأشنة ، والفطر ، وميز البريوفيت Briophytes : كالحرز (موس) والكبديات ؛ والمستورات الأعضاء التناسلية مثل : نباتات ذات أجنحة Ptérédiphytes واللازهريّة Equisétinées ورجل الذئب Lycopodinéés وFélicinéés وباديات الأزهار مثل كاسيات البزور وعاريات البزور) . وبالنسبة إلى إيكلر تمثل النباتات الأكثر تعقيداً ، من حيث التنظيم ، الأكثر تطوراً . أما عديمات البتلة فتعد من النباتات البدائية . وعاد أنغلر إلى هذه الرسيمة ، ولكن رسيمة الجديدة لا تختلف عن الأولى إلا من حيث التفاصيل . فأنغلر ، مثل إيكلر ، يقول بأن النباتات ذات الأزهار الأكثر بدائية هي وحيدات الفلقة وثنائيات الفلقة المحرومة من البتلات ، وذات البتلات البسيطة ، والزهور الصغيرة التي تضم عضوي التناسل ، والتي تتلفخ عن طريق الهواء (أنيموفيل : رحيات التلقيح) .

تنتطق كاسيات البزور من عاريات البزور النطفية ، والتي تبعثها حالياً ، من بعض الوجوه العتيقة ، القدييات (أي ذات الأزهار الذكرية على شكل قدة) والباندانال Pandanales : والقدييات (كالبندق والشارم) (البلوط) والجوز الخ) ، لها أزهار بسيطة ذات قدة تشبه الكوز (مخروط) عاريات البزور . ويرز التطور بفضل اكتساب الغلاف ، ثم باندماج الأجزاء أو القطع . وفيها يتعلق بالمشيمية ، أو الكيفية التي تلتصق فيها البويضات بالمبيض ، إنجه التطور من المشيمية المحورية إلى المشيمية الجدارية ثم المشيمية المركزية الحرة .

وميز أنغلر ، في بادئ الأمر ، من بين ذوات الفلقتين بدائيات الغمد Archiclamydées (لا غلاف ، أو كاس فقط ، أو كاس وفيه بتلات حرة) ، ثم الغمديات التوالي Métachlamydées (بتلات ملتصمة وكأس) . ونرى أن التركيز قد تم على مفاهيم انعدام البتلات ، وكثرة البتلات ومتحد البتلات أكثر من التركيز على « الأقل من السوي » أو « المحيط » أو « الفوق » بالنسبة إلى عضو التانيث في الزهرة (Epigynie) .

وبالنسبة إلى أنغلر Engler لا تبدو لنا كاسيات البزور إلا بشكل سلاسل تطورية غير متتالية ومعزولة ، وطويلة نوعاً ما . كان أنغلر استاذاً في جامعة برلين ومديراً «للمجينة النباتية» (من 1889 إلى 1921) ، ونشر بالتعاون مع برانتل Prantl ، أضخم تأليف في المملكة النباتية يمكن تصوره : «Die natürlichen Pflanzenfamilien 20 vol.» (1887-1915) .

وقد تتابع عمله بشكل واسع في بداية القرن العشرين ، وقد اتسم بصدور نشرات أخرى أساسية (Das Pflanzenreich : Syllabus der Pflanzenfamilien) ، وهو كتاب صدرت له إحدى عشرة نشرة ، الأخيرتان منها روجعنا على التوالي من قبل ي . جلج E. Gilg ول . ديلز L. Diels (1924-1926) ويمثل عمله ، أن أمكن القول ، البنية التحتية لمختبرات المنهجة ، في كل مكان في العالم : أنه الأدب الأساسي كما هو الرسيمة القاعدية في تصنيف الكتب النباتية .

ويكون من غير الانصاف إغفال ذكر الفرنسي هـ . بايون H. Baillon الذي نشر «تاريخ النباتات» (13 مجلداً ، 1867-1895) . هذا العمل المهم الكلاسيكي ، الذي صدرت عنه طبعة إنكليزية غير مكتملة يمتاز بنوعية تحليلاته المورفولوجية ، وخاصة تصويره الجيد .

2 - منهجية الكريبتوغام

الفطريات : - كان الهولندي ش. هـ. بيرسون Persoon (1755- 1837) بآن واحد ، ان أمكن القول ، جوسيو Jussieu وليمي Linné في علم الفطريات . واليه ينسب ، هذا الشأن ، عدا عن كلمة ميكولوجيا أي علم الفطريات ، نشر أول تنظيم كبير متعلق بالفطريات : Synopsis Methodica Fungorum 1801 « وهو كتاب مُعتبر رسمياً كنقطة انطلاق في المصطلحات التي أطلقت على عدة مجموعات كبرى (أوريدينال ، أوستيلجينال ، غاستروميسيت) . وغالبية الأنواع الواحد والسبعين التي عرفها تم الاحتفاظ بها . منذ 1787 ، أثبت النمساوي ج. هدويغ G. Headwig ان غيرات اللقاح في البيريز Pezizes توضع ضمن اكياس صغيرة مستطيلة اسمها « نيك » (أو القُرْب عندنا اليوم) . وافترض بيرسون أن كل الفطور هي ذات قرب ، ثم ارتكز على الثميرات ، قسمها الى طبقتين : انجوكارب ، ذات ثمار مغلقة ، وجيمينوكارب تكون فيها الزرق (مفرد زق) مجموعة فوق مسند أو كرسي مفتوح هو الهيمينوم . وركز بيرسون على قيمة تصنيف « الهيمينوم » (وهو غشاء تجتمع فيه بوغات اللقاحات) ، وهو أول من عرف سنة 1818 الوحدة الطبيعية في فصيلة الاوريديني .

إن حقبة وضع المصطلحات الحديثة ، بالنسبة الى الماكروميسيت ، قد بدأت مع « نظام ميكولوجيكوم 1821- 1823 » الذي وضعه العالم السويدي الكبير ي. فريز Fries (1794- 1878) . كان فريز مشرع علم الفطريات ونشر فضلاً عن ذلك ، وابنداء من سنة 1857 ، أعمالاً جيدة حول الهيمينوميسيت في السويد وفي أوروبا .

ونحن مدنيون لـ ف.م. آشرسون F.M. Ascherson ، وبصورة خاصة للفرنسي ج.هـ. ليفيه J.H. Lévillé (1796- 1870) بالمساهمة الجيدة من الدرجة الأولى . في سنة 1836 اكتشف آشرسون في دراسة تتناول عدداً كبيراً من الفطور ، البازيد (والاسم وضعه ليفيه) . ووصف خصائصها : انتاج اربع حقن ، ليست في أغشية ، بل فوق كراسمي صغيرة خارجية ، وفي السنة التالية ظهر كتاب « ليفيه » حول الهيمينوم ، وكان ثمره اثني عشر عاماً من الجهد : وتم التعرف على فرع جديد لأول مرة : (« البازيديوسبوري ») (بازيديوميسيت Basidiomycètes) وه تيكوسبوري « (اسكوميسيت) وتيكات ذات حقن داخلية لدى هذا الصنف الأخير ، وبازيدات ذات حقن خارجية لدى المصنف الأول . وبواسطة ليفيه Lévillé احتل علم الفطريات مكانته في التنظيم المنهجي .

ولكن الدفعة الحاصلة في فرنسا لم تكن معزولة - ففي بريطانيا كان لأعمال م. ج. بركلي حول « البازيد » أو الدعاميات ، كما كان في تشيكوسلوفاكيا لأعمال أ.ك. ج. كوردا Corda ، في الميكروسكوبيا ، تأثير كبير . لقد قام بركلي وكوردا بوصف آلاف الأنواع . وفي النصف الثاني من القرن نتابعت الأعمال حول العلوم الفطرية وخاصة حول الدعاميات (من قبل آل تولان Les Tulsane ، وباتويار Patouillard ، وفان تيغم) وحول الحقيبات (من قبل آل تولان وي. بوديه E. Boudier) محققة تحسينات في التصنيف .

وفي سنة 1884 نشر آ. دي باري Bary (1831- 1888) تصنيفاً يتعلق بتوليد أصناف ، (Vergleichende , Morphologie und Biologie der Pilze , Mycetozoen في كتابه

und Bakterien) وقد فرض نفسه بصورة مسبقة بصفته أحد أوائل علماء الفطريات في العصر ونشر كتاباً ذا ثع الصيت عنوانه : « المورفولوجيا - والفيزيولوجيا دريلز ، وفلكشن و ميكسوميستين » (1864- 1866) .

وفي أواخر القرن التاسع عشر وبفضل أعمال الفرنسيين « ل. كيلت Quélet » و « ن. باتويار Patouillard » ، والسويسري « ف. فايود Fayod » ارتدت منهجية الفطور العليا ، في سماتها الرئيسية ، الشكل الذي نعرفه لها في أيامنا .

الأشنات (Les Algues) . لم يكن آ. ل. دوجيسيو A.L. de Jussieu يعرف إلا خمسة أنواع من الأشنات موزعة الى مجموعتين من ذوات فاقدات الحبوب : مثل الي سي (Byssus, Conferva, Tremella) والفوسبي (Ulva, Fucus) . وبدأ علم تصنيف الأشنات حقاً بفضل أعمال الجينيقي ج. ب. فوشر J.P. Vaucher الذي نشر سنة (1803) تاريخ فطريات المياه العذبة (الحث الأخضر - طحلب المياه العذبة) . ورصد لأول مرة الأعضاء الذكرية والأنثوية في الإكتوسبارم (= فوشيريا DC ، 1805) . وفيما بعد ذلك بقليل تم التعرف على تشعب نوع الفوكوس بفضل ج. ستاكهوس J. Stackhouse الذي وزعها شعباً كثيرة سنة 1809 . ولكن بفضل بحوث الفرنسي لامورو (Lamouroux) تم اكتشاف الأقسام الكبرى الأولى . ففي كتاب هذا الأخير « بحث حول أنواع عائلة بالاسيوفيت غير المفصلة » (الطحالب البحرية) ، الذي نشر سنة 1813 ، عرض فيه تصنيفاً إجمالياً للتعرف على الطحالب السمرء التي سماها باري فايوفيقي Phaeophycées (1881) ، وعلى الطحالب الحمراء والطحالب الخضراء (كلوروفيقي ، عند ف. ت. كوترنغ ، 1845) ؛ فضلاً عن ذلك حدد عدداً كبيراً من الأنواع الجديدة التي حشرت تحت اسم فوكوس . والطحالب الزرقاء ، بصفتها مجموعة مستقلة ، لم تكتشف إلا سنة 1860 من قبل أ. ستينزبرغر Stizenberger (سيانوفيقي عند ساش ، 1874 ؛ وشيزوفيقي Schizophycées عند ف. كوهن F. Cohn 1880) .

إن الميزات التي تتمتع بها بعض المجموعات الكبرى مثل الدينوفيقي ، أو الكريزو- والكزانتوفيقي لن يتم التعرف عليها الا بعد ذلك بكثير ، بعد دراسات ج. كلييس Klebs (1883- 1884) ، وبعد دراسات أ. ورمسغ E. Warming (1890) ، ودراسات آ. أنغلر (1892) ، وكتاب آخرون من القرن العشرين .

إن نظام لامورو كان أساساً لأعمال ش. آ. آغارث Agardh ، وأعمال و. هـ. هارفي (1836) . ويعود الفضل الى السويدي آغارث في وضع المصنفات الكبرى الأولى المخصصة للأشنات : انه عمل موسوعي يعالج كل الأنواع التي كانت معروفة يومئذ (مجلدان ، 800 ص ، 1828) ثم مصف ضخم بعنوان « الأجناس ، الأشنات عمومياتها وتخصصياتها » (8 مجلدات ، 1848- 1901) .

ولا يمكن إلا التذكير ، وشدة ، من جهة أخرى بأن التقدم السريع في المعارف المتعلقة بأمور الجنس ، وخاصة ابتداءً من اكتشاف التخصيب أو الإلقاح على يد ثورت Thuret و برنغشم Pringsheim (1853- 1855) ، قد لعب دوراً أولياً في تطور علم التصنيف فيما يخص هذه الأجسام .

الحزاز أو بهن الصخور Lichens . عرفنا منذ أعمال باري Bary (1866) ، وس. شوندينر

Schwendener (1868) المؤكدة تجريبياً من قبل الفرنسي ج. بونيه G. Bonnier (1889) ان الحزاز هي أحسام مختلطة ، مكونة بالاتحاد الوثيق بين فطر (هو الحيط الفطري الذي لا لون له) واشنة أو طحلب (الغويدي أو العناصر الكلوروفيلية) . ومنذ زمن طويل تعرف المتخصصون بعلم الحزاز ، من ناحية علم التخلق ، (مورفولوجيا) على هذين المكونين الأساسيين ، وقد تطور علم التصنيف دائماً ، بصورة مستقلة ، دون أن يكون للنظرية على هذا التصنيف أي تأثير ذي أهمية . فقد نشط التصنيف في أوروبا بفضل عدد كبير من العلماء ، يأتي في المرتبة الأولى بينهم السويدي أريك اشاريوس E. Acharius والسويدي أ. فريير ، وخاصة خصم عنيد لنظرية الطحالب الاشتلت هو الفنلندي وليم نيلندر Nylander ، الذي وصف أكثر من ثلاثة آلاف صنف جديد .

البريوليت - والبتريدوفيت . - يجب مرة أخرى ، وهنا قبل أي مكان آخر ، ذكر اسم ناجيلي وهوفمستر Hofmeister . انهما يرمان ، في حوالي منتصف القرن ، الى مجموعة مدهشة من الأعمال حول الجنسية والنمو ، عند الطحالب أو الحزازات (موس) وعند البتريدوفيت ، وهي أعمال كان لها تطبيقات مهمة ورئيسية في علم التصنيف .

وفي علم الطحالب ، لم تكن هناك مشاكل منهجية مهمة على مستوى الأطر الأساسية : فقد اكتشف هودويع وآ. ل. جوسيو المجموعتين : موس وكبديات . وركز ف. شمبير على خصوصيات السفينيات (Sphaignes) (1857) . وكان أكبر مصنف للحزازيات هو الألماني ج. ك. مولر الذي وصف الفين وأربع مئة صنف من الطحالب وخمسة وعشرين صنفاً من السفينيات (Synopsis Muscorum) (1851-1848 في مجلدين) وقامت أعمال موازية أدت الى وصف 1600 صنف من الكبديات (ش. م. غوتش C. M. Gottsche والمجموعة 1844-1847) .

لقد تطور علم البتريدولوجيا Pteridologie أو علم كريبتوغام الانبوي أو الوعائي بوترية مدهشة بخلال القرن التاسع عشر ، بالارتباط مع البحوث التشريحية والجنينية وعلم تحجر النباتات . وقد استبق القرن بأعمال مفيدة جداً . فقد فصل ج. ش. د. شريبر J.D.C. Schreber (1791) الليكوبود عن الموس لكي يدخلها في فصيلة البتريدوفيت . وأبرز ج. ج. برنهاردي (1799) قيمة مجموعة من الصفات الجديدة تتعلق بكيس الوغ وغشائه . وأعطى نشر « تاريخ النباتات المتحجرة » (1828-1837) على يد أ. د. برونيارت ، مؤسس علم المتحجرات النباتية ، ونشر أعمال ج. ه. ر. غوبرت (1836-1841) للبحوث المتعلقة بعلم البتريدولوجيا دفعة قوية .

إنها الحقبة (1836) التي ظهرت فيها كتب كلاسيكية ذات أهمية كبيرة منها : « الجامع النباتي » لاتنديلير Endlicher ، ثم « Tentamen pteridographiae » بقلم ش. ب. برسل Presl . وكان نظام انديليش ، بصورة مختصرة هو النظام الحديث : فقد كان التعبير التصنيفي عن أعمال ل. ش. ريشار (1803) الذي عرف المجموعات التي منها اذئاب الخيل Equisetacées وأرجل الذئب Lycopodiacées ، وهناك أيضاً أعمال ش. ل. ويلدينو Willdenow (1802) الذي لم تحف عليه وحدة الهيدروبتيريدي Hydropteridées . ويفضل السرخسيات Filicinées توفرت لنا المجموعات الأربع التي قبل بها انديليش . وأدخل برسل في التصنيف البتريدولوجي مفاهيم مهمة لم يتم التعرف عليها إلا بعد ذلك بكثير .

إن الأعمال قد تَكَثَّرَتْ في النصف الثاني من القرن . والتقدم المنجز كان مشهوداً بشكل خاص . وقد ميزك . غوبل Goebel ، وهو يدرس نمو الأكياس البوغية بين فئتين كبيرتين هما : الليتوسورانيجيه ، حيث يَبْقَى الكيس أو الحلق عن خلية وحيدة أساسية والاسيورانيجيه ، حيث ينشأ الحلق عن مجموعة من الخلايا . فضلاً عن ذلك ، أدت أعمال علماء التخلق : باري ، ساش ، ستراسبورجر ، فان تيغم ، جيفري ، ش.ي . برتران ، و. لينيه O. Lignier ، بعد إضافتها إلى أعمال علماء النباتات المتحجرة أمثال وليامسون Williamson ، ب. رينولت هـ. بوتوني H. Potonié ، د. هـ. سكوت الخ ، إلى وضع الأساس الثمين للمعارف العصرية .

وأخيراً انتهى القرن مع صدور المجلد المهم حول مستورات الزهرة الوعائية (بيريديوفيت *Pteridophytes*) (1898- 1902) بفضل انغلر وبرانت ، يساعدتهما فريق من المتخصصين وفيه أربع طبقات مميزة : فيليكال ، سفيغوفيلال ، إيكيسيتال ، ليكوبوديال ، إن لينيه Lignier هو الذي بيّن ، بعد ذلك بعدة سنوات الوحدة البنيوية بين السفيغوفيلال والإيكيسيتال ، وقرر التالي أحد أكبر مجموعات التراشيوفيت .

III - الاستكشاف وعلم الأزهار

تمهى علم النبات في القرن التاسع عشر ، في قسم كبير منه مع استكشاف الكرة الأرضية ، إما بسبب أن علماء نباته الكبار ، سواء كان اسمهم همبولت ، هوكر ، براون ، آسغراي Asa Gray أو مارتينوس كانوا هم أيضاً رحالة مشهورين ، وإما أن مستحضراته الأكثر أهمية ارتدت شكل مشاريع ضخمة من التحاليل ومن الأوصاف النباتية ، أمثال البساتين الكبرى البريطانية في الهند وفي إفريقيا الاستوائية .

ويجب أن لا ننسى فضلاً عن ذلك أن الثورة البيولوجية الكبرى التي حدثت سنة 1859 انطلقت مباشرة من رحلات داروين والاس . هذا القرن المتميز بالحماس كشف عن النباتات الأكثر تنوعاً ، فوق القطب أو عند المنطقة الاستوائية ، وكشف عن الكائنات الأكثر غرابة مثل « رافليسيا سومطرة Le *Rafflesia* » ، وإزهار قطرها متر واحد وتزن سبع كلف ، ولوينشيا المضطرب العليا . وكشف هذا القرن أيضاً عن مجموعة ممتازة من العلماء ، وهم رجال مدهشون بشجاعتهم وصلابتهم ، رجال ملاحم ، متسامون أحياناً ، أو عباقره بحق ، وفي أغلب الأحيان غريبو الأطوار أو سذج . إن آل ميشو ، وبونلان وجاكيمونت ، ورافينسك وباشيلوت ديلا بيلاي ، مكتفين بالفرنسيين ، كانوا من هؤلاء الرجال . ولا يمكننا إلا أن نقتصر على ذكر بعض الأسماء وبعض الانجازات . على أن نجعلها بحسب البلدان .

أميركا .- إن اكتشاف أميركا الشمالية ، وقد أوضحه بشكل خاص ت. نوتال ، ود. دوغلاس ، وجون ماكون ، والفرنسيون ش.س. رافينسك وف.أ. ميشو F.A. Michaux ، وأ. دوران Durand أدى إلى نشر دراسات وكتب عن النباتات جزئية . ولكن علم التصنيف وعلم النباتات الأميركيين كانا محكومين بأساء جون توري Torrey (1796- 1873) وآسا غراي Asa Gray (1810- 1810).

(1888). ويجب أيضاً أن نذكر ل. د. فون شوينيتز Schweinitz ، وش. هـ. بك Peck اللذين وصفا آلاف الفطور .

وكانت الرحلات الكبرى إلى أميركا الجنوبية من صنع علماء أوروبيين : الأولى (1799- 1804) ، والأشهر ، هي رحلة آ. فون همبولت ، وإيمي بونيلان ، واهتمت بفرنزولا وكولومبيا والاكوا دور والبيرو والمكسيك . وكانت النتائج خصبة بشكل عجيب ودونت في كتب ضخمة منها : بلاتنا اكينوكسيال Nova Genra et species Plantarum (سبع مجلدات بالتعاون مع ك. س. كونث K.S.Kunth) .

بين 1816 و1822 مكث الفرنسي آ. دي سانت هيلير Saint-Hilaire في البرازيل . وفيها شكل مجموعة مهمة من النباتات ، واستطاع أن يدون كتاباً عن نباتات البرازيل المهاجرة (ثلاثة مجلدات ، 1825- 1833) ؛ ولكن العمل الضخم قام به النباتي الألماني ك. ف. ب. فون مارتوس Martius الذي وقعت رحلته إلى البرازيل في نفس الحقبة مع سانت هيلير . إن كتابه «نباتات برازيلية» بدأت الكتابة به سنة 1829 بمعاونة مساعدين عديدين ، ولم تنته إلا سنة 1901 : ويتألف هذا الكتاب من 15 مجلداً ومن 3805 لوحات ويمالج 22 ألف نوع .

إلى هذه الأساء يضاف اسم الإنكليزي ر. سبروس Spruce ، الذي صعد في جري الأمازون بين 1849 و1864 وإلى يعود الفضل بإدخال زراعة شجرة الكينا إلى الهند .

آسيا وأستراليا .- هناك سلسلة طويلة من الأساء يجب ذكرها بالنسبة إلى آسيا . ولا يمكن أن نغفل أساء و. روكسبورف Roxburgh الذي نشر كتاب فلورا انديكا (1820- 1824) ، وف. بوشانان Buchanan الذي قام بوصف مجموعاته د. دون Don (1825) ون. والبش وف. جاكيمونت ، ور. وايت ، وو. غريفيث وخاصة ج. د. هوكر الذي استكشف الهند مع ت. تومسون (1847- 1851) ونشر كتاب فلورا الهند البريطانية (1876- 1897) .

ويقترن اسم ش. ل. بلوم ، مدير البستان النباتي في بوتنزورغ (1822- 1826) باسم نباتات جاوا ، ويقترن اسم م. بلانكو بنباتات الفلبين ، واسم ر. فورتون ، الذي أدخل شجرة الكومكيات (فورتونيلا) إلى أوروبا، أساء ف- ب. فوريس ، وآ. دافيد ، وآ. هنري ، والروسيان آ. فون بونج وب. ي. كيريلوف بنباتات الصين . واكتشف ش. ماكسيموفيتش ون. م. رجيفلاسكي ، وخاصة ف. ل. كومازوف آسيا الوسطى والشمالية . واكتشف آ. كونهام وت. ميتشل ور. براون وف. ج. هـ. فون مولر أستراليا . ويعود إلى الجنيفي أ. بواسيه الفضل في وضع كتاب ممتاز عن نباتات الشرق (5 مجلدات ، 1867- 1884) .

افريقيا .- ربما كان استكشاف افريقيا أكثر بطئاً . ولكنه تسارع في النصف الثاني من القرن . إن رحلات و. ج. بورشل وف. م. ج. ولويتش ، وج. مان وج. كيرك ، وشونفورت الخ ... كانت في أساس المجموعات الكبرى والتحاليل النباتية المتعددة . وكتب العديد من الكتب عن نباتات افريقيا قبل 1850 ، وخاصة نباتات أوار Oware وبنين Bénin (1804- 1807) بيد باليسوت دي بوفول Palisot

Beauvois ، ونباتات النيجر (1849) بيد هوكر وبانتام . ويجب أن نذكر كتاب « فلورا كابنسي Flora Capensis » (سبعة مجلدات ، 1859- 1865) لواءه و. هـ. هارفي و. وسوندر، وبشكل خاص، كتاب Flora of tropical Africa الذي بدأ نشره سنة 1868 ، تحت إدارة د. أوليفر ، واستمر حتى سنة 1937 بإدارة د. برين D. Prain ثم تيسلتون -ديير ، ولكنه بقي غير مكتمل .

وتناول الاستكشاف النباتي أيضاً أفريقيا الشمالية فصدر كتاب « نباتات الجزائر وتونس » (1890- 1895) ، وقد وضعه ج. آ. باتانديه وش. ل. تروايوت .

IV - جغرافية النباتات

إن جغرافية النباتات، حالها كحال متحجرات النباتات، وهو علم يبحث في توزيع وتاريخ النباتات، هما من مواليد القرن التاسع عشر . واكتشاف المتحجرات ثم تطور الاستكشاف، وتقدم الدراسة المورفولوجية (التخلقية) والمنهجية لم تكن إلا لتؤدي إلى بزوغ هذين العلمين ، وبالنسبة، ابتداء من سنة 1859 ، إلى فهم العلاقات بين الأنواع ووحدها العميقة التي كشفتها لداروينية . وبسبب النشرة الكبيرة ، التي أصدرها هـ. ليكوك بعنوان « حول الجغرافيا النباتية في أوروبا » (تسعة مجلدات، 1854-1858) والتي سبقت مباشرة كتاب « أصل الأنواع » ، إلى أي حد كان نضج الأفكار يوشح ثابته . وقد سبق لليكوك ، بتشجيع من جيوفروا - سانت هيلر أن طرح كضرورة منطقية بالنسبة إلى البيو - جغرافيا (أي علم الإحياء الجغرافي) تسلسل الأنواع .

وبعد 1790 تصور هامبولد دراسة حول الجغرافيا النباتية ثم ، حوالي نفس التاريخ (1792) نشر عالم النبات الألماني ش. ل. ويلدنوف C.L. Willdenow أول دراسة بارزة حول الموضوع . وكانت بنظره ، وبحق ، « تاريخاً للنباتات » ، تاريخ ما أصابها من تغيرات عبر الأحداث الجيولوجية ، وسلوكها تجاه المناخات والتربة ، وانتشارها فوق الكرة ، وهجراتها ؛ ونجد عند ويلدنوف شروحات وأفكاراً مفيدة جداً ، منها شرح حول التألف النباتي بين أميركا الشمالية وأوروبا القطبية ، أو بين منطقة رأس الرجاء الصالح وإستراليا ، وشرح مقارنة التعبير بين النباتات البرية والنباتات المغروسة ، باعتبار أن هذه الأخيرة قد أعطت العديد من الأنواع ، وشرح للكيفية التي تؤمن فيها النباتات لنفسها الحماية بحسب استقامتها وأسلوب حياتها . ويشير المؤلف إلى امكانيتين لتفسير التألف الباقى بين القارات الفصولة عن بعضها البعض : الخلق الآني للأنواع ، خلقاً يرتبط بتماهي البيئة ، أو انفصال القارات التي كانت في السابق ملتصحة . ولأول مرة اكتشف مساحات نباتية ، ووضع تعريفاً أولياً لها ، فقال بوجود خمس مناطق رئيسية في أوروبا (وكل مركز توزيع يتمثل بأعالي الجبال) : النباتات السويسرية ، نباتات الشمال ، نباتات النمسا ، نباتات جبال الألبين ، نباتات جبال البريني .

وتلا عمل ويلدنوف بحث طويل وضعه تريفيرانوس « حول توزيع الأجسام الحية فوق سطح الكرة الأرضية » ، ثم كتاب هامبولد الشهير « بحث في جغرافية النباتات » (1807) وأعطى عمل هامبولد لهذا العلم الباشء بعداً جديداً . وخصص مجلداً بحاله من هذا العمل الضخم « نوافجينيرا وسباسي » للتوزيع الجغرافي للنباتات (1817) . كان هامبولد عبقرية قوية ، ذا انشاء فخم ، فمسخ وصور الطبيعة

الاستوائية بلوحات مدهشة لم تكن مساهمتها قليلة في إحياء الاتجاهات الجديدة نحو « النظر الى النباتات من خلال علاقات تجمعها الاقليمي في مختلف المناخات » وكذلك من خلال مظهرها الخارجي . ونحن مديون له بشكل خاص انه أبرز مفهوم الخطوط التحاررية (أي مناطق الحرارة المتماثلة) ، هذا المفهوم الذي أدى أكبر الخدمات للجغرافيا . ويدات الحقيقة كان روبرت براون الشهير يتخصص في بحوث من نفس النوع حول نباتات « الأراضي الجنوبية » محاولاً فهم توزيع العائلات ووضع العلاقات النسبية بين أنواعها المختلفة في مختلف القارات .

وأخيراً أدت أعمال هؤلاء الرواد ، الذين يضاف اليهم أوغوست ب. دي كاندول وميريل ، الى الانجازات الدقيقة حيث تم وضع القوانين والتقنيات ، وحيث تحددت المفاهيم ومنها أعمال ج. ف. شـُـو J.F. Schouw (من سنة 1816 الى سنة 1823) وأعمال ج. د. هوكر (1844 ، 1853 ، 1859 ...) وأعمال آسا غراي (1859) ، وأعمال الفونس دي كاندول (1855) ، وأعمال آ. غريزيش (ابتداءً من سنة 1845) . ان الوقائع والمشاكل المثارة في منتصف القرن كانت ضخمة الى درجة أن « الجغرافية النباتية » لكاندول لم تتضمن أقل من 1365 صفحة . وفي سنة 1883 فنع كاندول في كتابه « أصل النباتات المغروسة » فصلاً جديداً في البحث الذي بدا خصباً بشكل خاص .

وابتداءً من سنة 1870 تطورت الجغرافية النباتية بشكل مفاجئ . ونشر غريزيش سنة 1872 كتاباً بقي كلاسيكياً عنوانه : Die Vegetation der Erde . وفيه وصف نباتات الأرض بالوسائل التي كانت يومئذ محدودة جداً والتي قدمها له علم ذلك الزمان ، وأعطى تصنيفاً نباتياً على المستوى العالمي . إن عمل غريزيش قبل كل شيء هو مورفولوجيا تقارن بين أنواع المرووعات في علاقاتها مع المناخات .

وبعدها جاءت أعمال انگلر Engler الأولى والكبرى وذلك من خلال سلسلة كاملة من المذكرات والدراسات ، وخاصة تركيبة فحمة حول تاريخ تطور النبات (1878- 1880) . وأعطت هذه الأعمال مكانة ضخمة للتاريخ الجيولوجي . وكان للدراسة النباتية الجغرافية (فيتوجيوجرافيا) الوصفية التي وضعها هـ. كريست حول « نباتات سويسرا وأصولها » (1882) تأثير كبير . وانتهى القرن مع الكتب الكبرى التي وضعها و. درود O. Drude (1890) وخاصة التي وضعها ج. ي. ب. وارمنغ J.E.B. Warming (1895) والتي وضعها آ. ف. و. شمير A.F.W. Schimper (1898) . الذين فتحوا الطريق أمام علم اثر البيئة على الكائنات الحية (ايكولوجيا) ، هذه الكتب التي وضعت منعطفاً حقاً ، تعبر عن المنحى الفكري الجديد في البحوث التي جرت بحماس خلال الربع الأخير من القرن من قبل رجال امثال ج. فسك J. Vesque (1878) و. بونيه G. Bonnier و. ش. فلاهوت Ch. Flahault (1879) ، وس. شوندينر S. Schwendener و. فولكنز G. Volkens و. هابزلانت G. Haberlandt وغيرهم . وليس من قبيل المصادفة الحالية من المعنى أن تكون الكتب الأولى الكبرى حول المناخات الأرضية قد ظهرت سنة 1887 (آ. ويكوف A. Woeikoff) وسنة 1897 (ج. هان J. Hann) : إن علم البيئة (ايكولوجيا) سوف يكون علم القرن العشرين .

٧ - المؤسسات (المنظمات) والأجهزة الأساسية

من أجل الاجابة على النمو الضخم الذي ارتداه علم النبات ، وعلى الاستكشاف ، والنمو الذي ترجم بالتزايد غير المنقطع للمجموعات والنشرات - عدداً وحجياً - كان من الواجب وجود تحول عميق وتجدد واتساع في المؤسسات وفي التنظيمات التقليدية للعلوم الطبيعية . وطيلة القرن ، كان الانشغال ، بوضع هيكلية تحتية ملائمة للعلم السائر الى الامام ، مما يتيح ازدهاره ، دائم الظهور .

المتاحف والجنائن .. لم يكن يكفي كبار علماء التصنيف والجغرافية النباتية أن يتحمسوا بأنفسهم للقيام بالرحلات العلمية ، فأرادوا أن يعطوا للاستكشاف النتائج التي يجب أن يقدمها وبالتالي ، وفي أغلب الأحيان اقترنت أسماؤهم إما بتطوير ، وإما بإنشاء ، وإما بإدارة الجنائن النباتية ، وإما بوضع الكتب النباتية الكبرى . كان أوغوست ب. دي كاندول ، وم. تروب ، و.و.ج. هوكر ، ون.ل. بريتون وس. ش. سارجنت ، بأن واحد المدراء الأولين لجنائن جنيف (1817) وبويتنزورغ Buitenzorg (جاوا ، 1817) ، وكيو Kew (أعيد تنظيمها سنة 1841) وسانت لويس (ميسوري بوتانيكل غاردن Missouri Botanical Garden ، 1859) ونيويورك (1891) . وتعود مجموعات كبرى عديدة في نباتات العالم الى القرن التاسع عشر ، منها « غري هرباريوم Gray Herbarium » في جامعة هارفارد (1864) ثم « ارنولد اربورتم Arnold Arboretum » (1872) . ثم كتاب النبات الوطني في ملبورن (1857) ، ومنها مجموعات أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا (1812) ، وزوريخ (1834) ، وبروكسل (1870) ، وأبردين (1860) ، الخ .

الجمعيات الدورية والمؤتمرات .. ان العلم هودولي وجماعي ، منذ أن نشئت ، فيتخذ سنداً في تنظيم وفي جملة من الانفاقيات تكرر وحدته . من ذلك كانت حال علم النبات بخلال القرن التاسع عشر : فقد حلت مسائل التعبير ، والنقل والنقاش والرقابة على العلم ، بصورة تدريجية . وتكاثرت الجمعيات والنشرات الدورية وغيرها . ونظمت المؤتمرات الدولية الأولى . واللاحقة سوف تكون طويلة بأسماء المجالات التي أسست بخلال القرن التاسع عشر ؛ والعديد منها بقي بعد أن غير أسماءه حتى أيامنا : « اكتا هورتى بتروبوليتاني ، Acta Horti petropolitana » (سان بترسبورغ 1871) ، « محفوظات الميزيوم » ، (باريس ، 1802) ، حويات العلوم الطبيعية (1824) Beihefte Botanisches centrablatt (1891) ، بوتانيش جهاربوشر Botanische Jahrbücher (1880) ، ليزغ) ، نشرة كيو (1887) ، انطلاقة الجمعية اللينة [نسبة الى العالم ليني] اللندنية (1838) ، رودورا (بوسطن ، 1899) ، الخ . ولن تكون لائحة الجمعيات أقل طولاً : أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا (1812) ، الجمعية اللينة في نورمانديا (1823) ، ري سوسيتي (1844) ، الجمعية النباتية في فرنسا (1854) ، الجمعية الملكية النباتية البلجيكية (1862) ، دوتش بوتانيش جيززل شافت (1882) ، الخ .

وعلى نفس النسق حصل الاهتمام ويقناعة كبيرة ، من أجل تعريف وتنسيق المناهج واللغة ، ووضع قانون بالمصطلحات ، كما تم وضع معاجم وفهارس للاستعمال الكوني الشامل . وفي آخر القرن التاسع عشر كان التنظيم بادياً للعيان . واعتبر نشر دليل كيونسيس Index Kewensis - وهو

مجموعة من أربعة أقسام (1893- 1895) (كان له فيها بعد اثنا عشر ملحقاً إضافياً سنة 1959) تتضمن كل أسماء الأنواع والأصناف من النباتات ذات الأزهار ، نشرت منذ ليني - حقبة مهمة بشكل خاص في هذا السبيل . وقد سبق في سنة 1821 نشر أول دليل ، مفيد جداً على يدي . ج . ستودل E.G. Steudel تحت اسم « المصطلحات النباتية » وكان له طبعة أخرى سنة 1840 . ومنذ مطلع القرن ظهرت الحاجة الى وضع قواعد شاملة تحكم مصطلحات الأنواع والأصناف وغيرها من فئات تصنيفات النباتات . وظهرت الحاجة أيضاً الى وجوب توحيد المناهج ثم التمكن من الرقابة على النتائج : وكل هذه الاهتمامات تم التعبير عنها وتوضحت بشكل موسع في الكتاب : « النظرية الأولية » الذي وضعه أوغست ب . دي كاندول سنة 1813 . ولكنه كان عمل رجل واحد : وكان بالامكان قبوله أو رفضه . وفي سنة 1867 طرحت المسألة أمام جمعية من العلماء اجتمعت في باريس وسميت « أول مؤتمر دولي » . وفيه اقترح كاندول نصاً يتعلق بقوانين التصنيف . وفي الواقع لم يكن التفاهم الدولي سهل التطبيق . كما أن التفاهم لم يحصل في المؤتمر الدولي الثالث (فيينا 1905) . . . ولم يحصل هذا التفاهم إلا بعد ربع قرن من الزمن .

الفصل الرابع

باستور وعلم الميكروبات الحياتية (ميكروبيولوجيا)

من بين الوجوه الكبرى في البيولوجيا في القرن التاسع عشر كان وجه وشخصية لويس باستور Pasteur (1822- 1895) . وقد احتل مكانة لا نظير لها بفضل أصالة مناهجه وسلوكها المثالي ، وبفضل أهمية اكتشافاته ونتائجها . فقد كشف واستكشف عالماً بيولوجياً كاملاً ظل مجهولاً حتى ذلك الحين ، وهو عالم الميكروبات . كما أثبت أهمية هذا العالم على صعيد النظرية والتطبيق ، وأزال الأوهام وابتدع تقنيات جديدة ذات أهميات رئيسية في مجال العلم الخالص وتطبيقاته ، وفي حياة البشرية . وقد أظهر وكشف أمام عقولنا مظاهر أساسية ومجهولة في الطبيعة . وابتكر وسائل جديدة وقوية عملياً لاستخدام القوى . لقد غير في الطب .

هذا على الرغم من أنه لم يكن بحكم تربيته لا بيولوجياً ولا طبيباً . والجدة في عمله كانت بحيث أنها اصطدمت أحياناً بمعارضات شبيهة بتلك التي لقيها في القرن السابع عشر وليم هارفي ، وفي القرن التاسع عشر شارل داروين .

سنة 1843 دخل لويس باستور الى مدرسة المعلمين العليا ، فقام سريعاً ببحوث ناشطة في مجال الكيمياء وعلم التبلر *Cristallographie* . وكانت مسألة « الاختلاف النصفي » في بلورات الخلل (تارترات) التي وقف أمامها ميتشرليك قد أتاحت له الحصول ، منذ 1848 ، على نتائج مذهشة (راجع أيضاً حول هذه المسألة دراسة ج . أورسل في الفصل I من القسم الرابع ودراسة ج . جاك في الفقرة II من الفصل VII من القسم الثالث) .

الاختلاف النصفي (L'hemiedrie) والحياة .. بين أولاً ان هذا الاختلاف النصفي ذو علاقة مباشرة باتجاه الانحراف الذي يمارسه محلول هذه البلورات على الضوء المكثف . ومن هنا استنتج مفهوم « عكس التناظر » الحلوي ، وأسس فصلاً جديداً في الفيزياء والكيمياء انبثقت عنه فيما بعد الكيمياء التضخمية (الستيريو كيميا) أو الكيمياء المجسمة . يوجد في هذا المجال تشكيلا ن

الخلايا (تاورات) عكسية التناظر ، تعمل بأشكال متعارضة في الضوء المستقطب أو المكثف وذلك باقتعال انحرافه نحو اليمين أو نحو اليسار . ومزج هاتين التشكيلتين بنسب متساوية لا يشير أي انحراف . ولكن باستور عرف أن أجساماً دنيّا تتغذى من التاورات فلا تستهلك إلا واحدة من التشكيلتين وتبقى الأخرى سليمة . وهكذا بدت له الخلية الحية كمختبر للقوى غير التناظرية . ودرس هذه المسائل من سنة 1849 الى سنة 1853 ، وهي السنوات التي كان فيها يعلم في كلية العلوم في ستراسبورغ .

التخميرات .- في سنة 1854 نُقل باستور الى الكلية الجديدة للعلوم في ليل ، حيث طلب منه الصناعيون أن يصحح لهم مخالفات التخمر الكحولي ، المطبق حتى ذلك الحين بشكل تجريبي بواسطة خميرة البيرة . وكان هناك نظريتان متعارضتان تفسران هذا التخمر : نظرية برزيليوس Berzelius ونظرية ليبغ Liebig . ولاحظ باستور وهو يدرس شذوذات التخمر الكحولي تشكل الأسيد لاكتيك ، وتبين أن تشكل هذا الأسيد ذو علاقة بوجود مادة تظهر في الأوعية بشكل يقع رمادية . وعند تفحص هذه المادة بواسطة الميكروسكوب تبين أنها تتألف من خلايا صغيرة عرف فيها باستور أجساماً حية . والقليل من هذه المادة إذا أضيف الى المستحلب المغلي من الخميرة المطعمة بالسكر وبالطباشير ، كان كافياً لإطلاق التخمر اللاكتيكي المنتظم والثابت ، المقترن بتكاثر جسم معين ثم تغذيته على حساب مادة قابلة للتخمير هي السكر ، وينتج عن هذه التغذية بقية من الأسيد لاكتيك (حامض لبني) .

هذا المفهوم الجديد وسعه باستور فاشمله حالات أخرى . إن كل تخمر يبدو وكأنه متولد عن مفعول خميرة خاصة .

وللحصول على تخميرات جيدة كحولية وصناعية يكفي كما يقول باستور : « أن يكون لدينا خميرة نقية متجانسة تنمو براحة وحرية بواسطة غذاء مناسب لطبيعتها الذاتية . وهكذا بدا التخمر مرتبطاً بالحياة وتنظيم الخلايا ، لا بموتها أو فسادها » (مذكرة حول التخمر الكحولي 3 آب 1857) .

وقبل باستور سنة 1680 كان ليونوهوك Leeuwenhoek قد لاحظ في الميكروسكوب خلايا خميرة البيرة ، وفي سنة 1835 تعرف كانيار دي لاتور Cagniard de Latour ، بفضل التحسينات على الميكروسكوب ، على التكاثر عن طريق التبرعم ، واستنتج أن الخميرة هي كائن حي « يؤدي زرعها ، احتمالاً ، الى تصاعد الأسيد كربونيك والكحول » . وهذا التفسير ، الصادر بدات الوقت في ألمانيا عن ث. شوان Th. Schwann وكوتزنج Kützing قد خُتق بفعل نظريات ليبغ Liebig .

ودرس باستور بالمقارنة وبدقة التخمر الكحولي وحصل عليه عندما زرع أثراً لا يذكر من الخميرة في عصير لا يحتوي إلا على السكر والأملاح المعدنية المتبلرة . وتكاثرت فيه الخميرة على حساب مكونات العصير ، لتشكل خلايا . وإذا لم يكن الأمر مجرد فعل تماس كما زعم برزيليوس ، ولا كان تفككاً عفوياً في المادة المتماصة كما أراد ليبغ .

وهكذا تم حل سر التخمرات ، وبدا التفسير لها عاماً ، إذ توصل باستور الى تفسير تخمير آخر

فتح له آفاقاً جديدة ، وهو التخمر الذي يولد الأسيد بوتيريك Butyrique (أو حامض الزبدة النتن) .

هنا كانت الخميرة متحركة ، وبدت متممة الى المملكة الحيوانية في حين أنها كانت في الواقع كائناً نباتياً : « ذباً » (بكتيريا قوسية) . هذه الخميرة تتمتع بخصوصية ذاتية هي أنها لا تنمو الا بمزج من الأوكسجين . وهكذا تكشف أسلوب جديد للحياة أطلق عليه اسم « أناسيرو يسوز » (حياة اللاهوائيات) وفيها يأخذ الجسم الحي الأوكسجين في حالة تركيبة في حين أنه لا يستطيع التعايش مع الأوكسجين الحر . إن الخميرة تستطيع العيش مع وجود الأوكسجين ومع غيابه . ولكنها لا تخمر إلا عند غياب الأوكسجين في حين أنها عند ملامسة الهواء تحرق السكر تماماً دون أن تحدث كحولاً . فالخمر إذ ، بالنسبة إليها أيضاً هو حياة بدون هواء . وفي حالة الذب الحمضي تكون الحياة بدون أوكسجين ضرورة مطلقة ، وتكون نتيجته ظاهرة نافهة من شأنها أن تفسد فساد التخمر أي الاهتراء الذي يعيد جثث الكائنات الحية الى الفضاء وإلى المملكة المعدنية .

هذه الاكتشافات التي حققها باستور سوف يكون لها عواقب آتية مباشرة ورئيسية . وهي سوف تحول في الصناعات المقتنة بممارسات كانت تطبق تجريبياً ، وبممارات عشوائية : ان صنع الخل الذي ينتج عن أثر خيرة خاصة هي ميكودرما آسيتي على الكحول ، وصنع البيرة سوف يتجدد أيضاً . أما أمراض الخمور فبدت أيضاً وكأنها من صنع خاثر معينة ، ويمكن تفاديها بالفضاء على هذه الحمائل بواسطة التدفئة المنظمة بمعدل 50 درجة مئوية ، وهذه العملية أطلق عليها اسم البسترة (أي التعقيم على طريقة باستور) . ونفس النتيجة تحصل فيها عصى حفظ الحليب بالتعقيم .

التولد الذاتي *génération spontanée* (الابتداء) وقيام علم البكتيريا (باكتيرولوجي) . - في سنة 1857 عاد باستور الى باريس لكي يعلم في مدرسة المعلمين العليا فواجه مسائل جديدة .

إن المسألة القديمة مسألة التولد الذاتي *Génération spontanée* التي حلها مؤقتاً ، في القرن الثامن عشر ، سيالانزاني ، قد أثبت من جديد من قبل عالم طبيعي من مدينة روان اسمه آ . بوشي Pouchet الذي زعم أنه أثبت صحتها بالتجربة (الاختلاف عن الأصل أو كتاب « التولد الذاتي الأنّي المباشر » باريس ، 1859) . ونظمت أكاديمية العلوم حول هذه المسألة مسابقة تحت رعايتها . وشارك فيها باستور ودحض مزاعم بوشي . وتكلم بحثه بالنجاح سنة 1861 . وأثبت أن مزاعم التولد الذاتي (الخلق من العدم ، كيميائياً) ما هي إلا وليدة تلوث السوائل بلقاح من الهواء . وأنشأ بهذه المناسبة تقنيات بسيطة لتفادي هذا التلوث أو لاستحداثه في لحظة معينة . وولدت هذه الوسائل التقنيات البكتيرولوجية لتعقيم أماكن الزرع . وما تزال بالونات معقمة من قبل باستور ، معقمة حتى الآن بعد مرور حوالي قرن . وفي هواء نقي خال من الجراثيم ينعدم التلوث . واثبت باستور ذلك بتجارب أجراها فوق جبل مونتفير ، فوق بحر « الجليد » . ومن أصل عشرين بالوناً معقياً ، فتحت فيها بعد في ذلك المكان ، بقي تسعة عشر بالوناً معقياً .

ورد خصومه وهم بوشي Pouchet وجولي Joly وموسي Musset أبطال التولد الذاتي ، بتجربة مماثلة أجروها في مغلي التبن فوق قمة مالادانا في جبال اليربنيه ، وهنا تناهت البكتيريا . ولكنهم رفضوا

إجراء تجارب تثبتية مع باستور . وبعد اثنتي عشرة سنة ، في سنة 1876 ، ثار الجدل من جديد مع الإنكليزي باستيان ، وفي هذه المرة أجرى باستور مع معاونيه جويرت وشمبرلان ، نقاشاً تجريبياً دحض تماماً أطروحة باستيان . إن نمو الجراثيم الذي لحظه باستيان ، وقبله بوشى وتابعوه ، قد فسر . إنها جرثومة خفية «باسيلوس سوبتيليس» ونموها يعود إلى جيوب من هذا الكائن تقاوم حرارة غليان الماء (مئة درجة) المستعملة للتعقيم الموضعي . ولكن هذه الجيوب تموت بالتسخين تحت الضغط في درجة حرارة 120 أو 130 درجة مئوية .

إن تجارب الدحض التي أجراها باستور ، ومزاعم بوشى وباستيان لم تستبعد فقط مزاعم التولد الذاتي ، بل أوجدت تقنيات التعقيم لأماكن الزرع وولدت علماً جديداً ذا أهمية نظرية وعملية أولية هو علم البكتيريا (باكتريولوجي) .

أمراض دودة الحرير . - في هذه السنوات 1860 كانت تربية دودة الحرير في جنوب فرنسا قد قضى عليها بفعل مرض خفي يصيب هذه الحشرات اسمه البيرين *Pébrine* . وبناء على طلب من ج - ب. دوماس انصرف باستور إلى درس معمق للمسألة وبين أن هذا المرض ذو علاقة مع وجود جسيمات خاصة في أنسجة هذه الدودة (وقد أشار الإيطالي كورناغليا إلى هذه الجسيمات) والتي يعثر عليها في بويضات الإناث الملوثة (وقد كشف علم الزوولوجيا فيما بعد ، أن جسيمات البيرين هي أغشية لجرثومة ميكروسكوبية تنتمي لمجموعة كيسية سوروزوير ، ثم التعرف عليها فيما بعد) . وبعد الفحص الميكروسكوبي للأنسجة الملوثة للأنث ، ثم عزل بويضات كل الإناث الملوثة بهذه الجسيمات من أحل الزرع وعندها ، بعد أخذ الحيلة المناسبة أثناء الزرع ، تم القضاء على المرض بصورة جذرية . واكتشف باستور بذات الوقت مرضاً آخر لدودة الحرير اسمه فلاشيريا ، ويعزى إلى انتشار بكتيريا في الأمعاء ، وأتاحت هذه الملاحظة توضيح منشأ الأمراض المعدية بوجه عام .

مساهمة سابق : أوغسطينو باسي *Agostino Bassi* . - من الحدير بالذكر القول بأن مرضاً آخر لدودة الحرير (الفز) اسمه الموسكاردين ، كان في السابق موضوع دراسة معمقة من قبل باحث ميكروبي هاو إيطالي اسمه أوغسطينو باسي (1773-1856) الذي نجح في إثبات أن هذا المرض يأتي من فطر طفيلي ميكروسكوبي . كما أوضح عدة تدابير تتيح انتشاره (*Del mal Del segno calcinaccio o muscardino* مجلدان ، لودي ، 1835-1836 وملخصه الفرنسي بعنوان : حول الموسكاردين ، باريس 1836). وقد مجد باستور عمل سابقه :

«نحن نعرف ، منذ سنة 1835 ، من خلال البحوث الدقيقة التي قام بها البروفيسور باسي ، من بلدة لودي ، والمؤكدة بتجارب أودوين ، أن هذا المرض يجب أن يعزى إلى تنامي - داخل الدودة أو العذراء (نغفة) - طفيلي نباتي اسمه «بوتريتيس باسيانا» ، تمجيداً للعالم باسي الذي قام لأول مرة بوصفه ، وعرف عن آثاره السيئة» . (لويس باستور ، دراسات حول مرض دودة الحرير ، باريس ، 1870 ، مجلد 1) .

هذا الاكتشاف لفطر طفيلي ميكروسكوبي المثبت منذ 1837 من قبل ج - ف - أودوين ، أثار عدة بحوث أدت بشكل خاص إلى اكتشاف «أكوريون شونليني» *Schönlein* (شونلين ، 1839 ؛ غروبي

Gruby, 1841) ؛ وهي جرثومة مسؤولة عن مرض القرع البشري . ولكن باسي في دراسته أصدر فكرة بأن أسباب غالبية الأمراض المعدية تعود الى جسيمات ميكروسكوبية . هذه النظرية التي لم يستطع باسي لسوء حظه اثباتها من خلال ملاحظاته ، استلمها وطورها سنة 1840 ، في كتابه « باتولوجيا سوشونن-Pathologische Untersuchungen-المشرح والبيولوجي الألماني جاكوب هينل ، صديق شوان ، والمعلم مستقبلاً للعالم ر. كوخ Koch . أوضح هينل بشكل خاص القواعد التجريبية التي من شأنها تبين أن عاملاً ميكروسكوبياً معيناً هو في أساس المرض . وهذه القواعد استعملها فيما بعد ر. كوخ في دراساته حول مرض الفحم

هذه الوقائع التي ظلت لمدة طويلة غير معترف بها من قبل مؤرخي البيولوجيا تدل على أن آ. باسي كان الطليعي في علم البكتيريا .

ومع ذلك فقد وجهت بحوثه حول أمراض دودة الخربز ، عقل باستور ، بشكل حاسم نحو الأمراض المعدية ، وامكانية تدخل الجراثيم الملوثة في انتشارها .

دور الميكروبات في الأمراض المعدية عند الحيوانات والانسان .- في ذلك الحين تقدمت الدراسة الميكروسكوبية للكائنات الدنيا ، الذبابت ، والعصيات الخ . واكتشف العالم النباقي الألماني ف. كوهن الأكياس أو الأغشية التي عثر عليها باستور في حالة الذب الوتيري وفي حال الفللاشيري . وتعرف المراقبون الكثيرون على وجود بكتيريا في بعض الأمراض المعدية مثل : (بيمبي ؛ مغريت مقبيح ، الحمى النفاسية والجروح الصديدية) . وفي سنة 1873 لاحظ أوبرمير Obermeier وجود ميكروب « سبيروشيت » لدى المرضى المصابين بالحمى الراجعة . ولكن الأطباء رفضوا أن يروا فيها السبب الفعلي لهذه الأمراض . ومنذ 1867 اهتم باستور بهذه الأمراض فزار مستشفى فالديغراس Val-de-Grace واطلع على الفيزيولوجيا بحضوره محاضرات كلود برنار في كوليج دي فرانس .

وتم اكتشاف مهم سنة 1850 من قبل الطبيب والزولوجي لك. دافين C.Davaine (1812-1882)، هو اكتشاف جسيمات صغيرة خيطية (ذكرها بولندر سنة 1849) تعيش في دم الحيوانات (وخاصة الحرفان) المصابة بمرض الفحم . وفي ما بعد ، وبناءً على مذكرة من باستور حول « الحبيونات التي تعيش بدون أوكسجين حر وتحصد التخمرات » (1861) ، اكتشف دافين في هذه الجسيمات التي سماها « بكتيريا الفحم » أسباب مرض الصحم . ولكنه لم يستطع بشكل حاسم دحض الاعتراضات التي تصدت لطرحه . في هذه الأثناء ومنذ 1865 ، استنتج الجراح الايكوسي جوريف ليستر (1827- 1912) ، النتائج من وجود جراثيم في الجروح المتقيحة وعكف على التغلب عليها بواسطة تقنية جديدة هي تقنية التطهير « انتيسبيسي » التي أحدثت تجديداً وتوسيعاً مدعماً في عالم الجراحة .

وبعد 1870 اتجه باستور بحزم نحو دراسة الأمراض المعدية ، باعتبارها مسببة بفعل الجراثيم الميكروبية الضارة التي تدخل الى الجسم . ولم يكن ذلك إلا لصدمة الروتين الطبي ، بل وأيضاً بعض المفكرين المجددين أمثال العلماء الألمان فيرشو ، وهلمولتز وبوارميون ، الذين بدت في نظروهم فرضية تدخل الجراثيم الضارة مشوبة بالاحيائية والذين كانوا يفتشون عن حلول لهذه المسألة تدخل في نطاق الفيزياء الكيميائية . وكانت أكاديمية الطب في باريس حيث كان باستور عضواً منتخباً فيها سنة 1872 ،

مسرحاً لنقاش عنيد جعله بصطدم بالأطباء التقليديين الذين لم يستطيعوا تقبل الفكرة بأن الحقيقة في الطب هي ملك الكيميائي .

الإنجاز الطبي عند باستور - لقد حقق باستور ثورة حقيقية في الطب وذلك عندما أجرى تحاربه على الحيوانات بشكل خصب وأصاله مخصصين عموماً ومحكورين على سنوات الشباب ، كما استعمل المنهج التجريبي الدقيق الذي يدل عليه كل انتاجه .

أ - مرض الفحم .- ان مرض الفحم كان فرصته لتحقيق أول نجاح في المجال الطبي . وقد استعان بمعاونين منهم جوبرت وشامبرلان واميل رو Joubert, Chamberland, E. Roux وسابقه أمثال دافين وكوخ Davaine et Koch . وكان هذا الأخير قد أتم دراسة دقيقة حول البكتيريا الفحمية (باسيلوس أنتراسيس) ، من أجل التعرف على كيس أو حق هذه البكتيريا ، ومن أجل توضيح ظروف تكونها (1876) . وعندما حقق باستور زراعة بكتيريا الفحم في النقيع ، بين بأن بكتيريا الفحم بالذات هي العامل الضار وليس السائل الذي زرعت فيه (1877) . وبين أنه بعد موت الحيوان تموت البكتيريا بسرعة داخل الدم حيث تنتشر دُبات التفكك والاهتراء . ودحض بالتالي اعتراضاً قدمه أصام دافين كل من لبلات وجايار Leplat et Jaillard . وقدم أيضاً لشروط تلوث الحيوانات فرضية مهمة وذلك حين بين أن هذا التلوث يحصل « في حقول ملعونة » ، حيث كانت في السابق قد دفت حيوانات مريضة بمرض الفحم ، كما يحصل عن طريق سلع دودة الأرض التي تعيد الى السطح أكياس البكتيريا الفحمية . وزرع تربة هذا السلح تحت جلد حيوان مخبري تحدث فيه مرض الفحم . والخرفان تتلوث من خلال الجروح في شفاهها ، عندما تقضم الأعشاب في الحقول الملونة .

ب - كوليرا الدجاج .- درس باستور بذات الوقت كوليرا الدجاج فتوصل عرضاً الى اكتشاف مهم هو تلطيف وتخفيف الفيروس ، وبالتالي تلطيف أو تخفيض فيروس اللقاح (1880) .

إن فيروس الكوليرا الدجاجية هو ميكروكوك (بكتيريا) تزرع بسهولة في مرق الدجاج عند الدرجة 37 مئوية . وإدخال هذا المرق في جسم الدجاجة يحدث فيها حتماً المرض المميت . وأوقفت العطلة الصيفية تجارب باستور . وعند العودة عاد باستور الى تجاربه ، فلاحظ أن الدجاجات « الملقحة » بلقاح قديم كان مرضها خفيفاً استطاعت الشفاء منه . وبعد أن أدخل في جسم هذه الدجاجات التي شفيت كمية ممتة من زرع جديد ، لاحظ أنها تقاوم المرض . لقد اكتسبت مناعة بفضل المرض الخفيف الذي أصابها في السابق . وكان في هذا ما يعادل التلقيح أو التطعيم الجيني (نسبة الى العالم إدوار جينر Jenner) ضد الجدري . وبالمقابل نجح باستور في إعطاء الفيروس اللطيفة لسمتها الأولى بأن مررها بصورة متتالية عبر عدة دجاجات ، وهكذا يكون بالإمكان ، بفضل هذا الأسلوب ، تغير خصائص الجراثيم الملونة بشكل إرادي ، ثم تلطيها أو إشارتها حدتها ، وأخيراً استخلاص اللقاح منها .

ج - التلقيح الفحمي .- طبق باستور في الحال هذه التقنية على مرض الفحم ، وقد تم التلطيح هنا بزراعة البكتيريا الفحمية في درجات حرارة مرتفعة (42-43 درجة مئوية) مما منع حصول أكياس ،

وخفف من حدة المرض . وقاومت الحيوانات الملقحة هذه الفيروسات الملقحة ، وأصبحت ذات مناعة ضد التلقيح المميت أو ضد الاصابات المعية .

وأحدث الاعلان عن هذه النتائج المختلفة هزة حملت الجمعية الزراعية في ميلون الى القيام بتجربة علنية مثيرة وذلك في مزرعة Pouilly-Le-Fort . تم تلقيح خمسة وعشرين حلاً وفقاً للطريقة الموصوفة أعلاه . وبعدها حقنت هذه الحيوانات بزرع عادي حاد . ولقحت خمسة وعشرون أخرى باللقاح القوي فقط . وتم التلقيح الأخير في 31 أيار 1881 . وفي الثاني من حزيران وبناءً على الموعد المحدد من قبل باستور ، للاطباء البيطريين وللجمهور ، تمت مشاهدة جثث الخرفان الشهود في حين أن الخرفان الخمسة والعشرين الملقحة ، بقيت حية وبحالة طبيعية . وسرعان ما انتشر هذا التلقيح ضد مرض الفحم في العالم كله .

د - الكلب . - إن الإنحاز الكبير والأخير الذي حققه باستور كان التلقيح ضد مرض الكلب ، وهو مرض مأساوي مميت ، ناتج عن عضة كلب . وكانت فيروس الكلب خفية لم يُعثر عليها إلا حديثاً بفضل الميكروسكوب الالكتروني . والكلب مرض معد ، سببه جرثومة تدخلها عضة الكلب . وتظهر أعراض المرض على الجهاز العصبي ، فخطر لباستور أن يستخدم المراكز العصبية كمكان زرع ، وذلك بحقن النخاع بعد عملية حج (ثقب) عظم الجمجمة ، بمادة مأخوذة من النخاع الشوكي من حيوان مكلوب . وعاونه أ . رو E. Roux ، فتوصل بالتالي الى نقل المرض الى الكلب . واستطاع أيضاً تخفيف حدة سُمية هذا الفيروس بنقله عدة مرات الى أرانب . وكان يسترشد بتجاربه حول كوليرا الدجاج وحول مرض الفحم ، فتوصل الى تلطيف الفيروس بترك حبال شوكية ملوثة تحف في الهواء . وخفت حدة الفيروس مع الزمن وزالت بعد أربعة عشر يوماً . وتحملت الكلاب بدون ضرر اللقاحات المتتالية التي عمرها 14 ، 13 ، 12 يوماً ، إلخ . إلى أن تم التوصل الى اللقاحات الأكثر قوة وحدة . وهكذا أمكن تجنب هذه الكلاب بشكل جذري ثم تمكينها من مقاومة التلقيح والعص الأكثر شدة .

ويبقى تطبيق هذه الطريقة على الانسان . وتردد باستور طويلاً في إجراء هذه التجربة . وأخيراً قرر تنفيذ التجربة ، ونجحت نجاحاً كاملاً في تموز سنة 1885 على شاب من الالزاس اسمه جوزيف ميستر Joseph Meister .

هذا النجاح أحدث دواً ضخماً وكانت له ردات فعل عملية رئيسية . فحتى ذلك الحين لم يكن تحت تصرف باستور إلا موارد مادية تافهة جداً ، ومختبر متواضع جداً في مدرسة دار المعلمين . وأُجري اكتساب دولي بعد نجاح التلقيح ضد الكلب ، مما أتاح بناء مؤسسة باستور التي افتتحت في تشرين الأول سنة 1888 . وإذا كان عمل باستور الشخصي قد انتهى ، مع الأسف ، فإن سلسلة طويلة من التلاميذ أمثال أ . دوكلو E. Duclaux وأ . رو E. Roux وأ . بيرسين A. Yersin وأ . كالمت A. Calmette وأ . مشنيكوف Metchnikov ون . غامالي N. Gamaleia وغيرهم ، تولت مواصلة العمل . ومنذ أكثر من سبعين عاماً لعبت مؤسسة باستور ، التي وسعت بشكل ضخم ، كما لعب غيرها من المراكز المتنوعة والمشابهة ، في مختلف البلدان ، دوراً كبيراً في تقدم البيولوجيا والطب التجريبي .

وأصاب باستور سنة 1868 مرض خطير في صحته فتركه نصف مشلول دون أن يمنعه من مواصلة

الاكتشافات . وانطقت شعلته سنة 1895 .

يعتبر باستور مؤسس علم البكتيريا (bactériologie) التجريبية ، وقد كشف عن الدور المهم الذي تلعبه الميكروبات الجُسْمية الأولى والبداية ، وقد نُور بالتالي الطب ، والجراحة والعديد من الصناعات . ويعتبر إنجازه مرحلة رئيسية في معرفة الطبيعة وقواها ، المسخرة لخدمة الانسان .

الفصل الخامس

الفيزيولوجيا النباتية (علم وظائف الأعضاء في النباتات)

ولدت الفيزيولوجيا النباتية على أثر أعمال قام بها لافوازييه Lavoisier بخلال القرن التاسع عشر . إن المعارف المستحدثة مجدداً ، والحاجة الملحة دائماً إلى تحسين الزراعة ، وعبقريّة بعض الرجال قادت بصورة تدريجية إلى اكتشاف مشاكل الفيزيولوجيا ومناهجها ، وإلى تحديدها بدقة متزايدة ، وأخيراً إلى ترتيبها ضمن فئات تم التنسيق فيما بينها . ولكن القرن التاسع عشر لم يعرف ، كما يقال ، التخصصات التي أصبحت شأناً من شؤون عصرنا الحاضر . بين 1800- 1840 ظهرت الأعمال المهمة التي قام بها سوسور Soussure وديتروشه Dutrochet . ثم جاء ليبيج Liebig وبعده بوسنغولت Boussingault وساش Sachs ويفيفر Pfeffer وغيرهم . ويمثل هؤلاء الرجال وحدهم تقريباً الفيزيولوجيا النباتية في القرن التاسع عشر . فقد كانوا المفكرين والمهندسين في مختلف شعبها .

I - تيودور دي سوسور وتغذية النباتات

حالة المسألة في بداية القرن .. في سنة 1804 عندما نشر تيودور دي سوسور كتابه « بحوث كيميائية حول الزرع » كان العموض الكبير سائداً في الأفكار المتعلقة بغذاء النباتات . وكان أرسطو ومن بعده المحافظ الكبير أوليفيه دي سار Olivier de Serres مسيطرين بحق على الرأي العام عند الزراع وعلماء النبات . ودليل ذلك ، البيان الذي أورده موريس Maunce في كتابه « مطول في الأسمدة » (1806) . ولم يُطلب إلى برنار باليسي Bernard Palissy ، بأرائه العميقة ، الضمان بل يُطلب إلى « أبي الزراعة الحديثة » ذلك : « أن الروث هو الذي يُفرح ويُدفء ويُسمد ويُطري ويُطفئ ويضبط ، ويلين الأراضي المتعبة بفعل العمل المرهق . . . » هذه هي أقوال هذا الأخير . وطل هذا القول مقبولاً حتى في سنة 1806 .

وكان ج . ب . فان هلمونت J.B Van Helmont (1652) ، و ر . بويل R Boyle و دوهاميل دي

مونسو Duhamel du Monceau وجان . ج . فالريوس J.G. Wallerius (1761) قد أدخلوا المعتقد ، الذي ما يزال سائداً حتى الآن ، ومقاده أن الماء وحده يكفي لتغذية النبتة ، وهذا الموقف أصبح غير ملائم انطلاقاً بعد الأعمال التي قام بها لافوازييه وبرستلي Priestley وأنجنهوس Ingenhousz وسينبيه Senebier . وسرعان ما دخلت الفكرة ، مع هاسن فرائز Hassenfratz (1792) ، ومقادها أن جسمين ، وجسمين فقط يجتمعان من أجل تغذية النبتة : الماء وهواء الفضاء . وانضم جان سينبيه Senebier بنفسه إلى هذا الرأي الذي كان شائعاً في الحقبة التي كان فيها سوسور Saussure يقوم بأعماله .

ويعتقد أيضاً أن الكربون يمكن أن يتم امتصاصه انطلاقاً من الغاز - كربونيك الموجود في ماء التربة . والحقيقة أنهم كانوا في صميم الافتراضات . وكل مؤلف كان يبني الرواية على هواء . ولم يكن الاتفاق سائداً بقوة إلا حول نقطتين :

- 1 - ان الأملاح إما أن تكون سموماً أو أنها عارية من كل طاقة غذائية .
- 2 - إن الأسمدة ، التي عرفت فضيلتها ، تلعب دوراً غير مباشر وغير أساسي ، هامياً أو ميكانيكياً .

والترميز والتحليل (وهما طريقتان مستعملتان منذ ف . ريدي F. Redi (1650) أثبتا وجود أجسام معدنية وغيرها في أنسجة النباتات ، وهذا الوجود لا يمكن عزوه إلى المركب ماء ، هواء ، وحده . ومع ذلك لم يكن أحد ليخرج من ذلك . وإثارة موضوع مبدأ حيوي ذاتي وخاص في « عمل الإنبات » كانت تكفي لتهدئة الأفكار . إن مفهوم التغذية السائد في إطار الفكرة « المسبقة » لا يمكن إلا أن يؤدي إلى القول بدهامة هذه « القوة الحوية » . وقد لجأ إليها علماء في الطبيعة مشهورون أمثال بونيه Bonnet ودوهاميل Duhamel . فالترية والأملاح الموجودة في النباتات تنبع عن نقل المياه : هذا هو قول فالريوس Wallerius . وبعد نصف قرن كانوا يفكرون نفس التفكير أو ما يشبه ذلك .

واستطرداً مع فكرة هذه الحوية الشهيرة ، ساد الاعتقاد بأن الموموس Humus أو التربة المتأينة من تحلل النباتات ، لا يمكن أن تكون من منشأ معدني فهي تنفزع من الماء بدون شك ، في رأي فالريوس Wallerius ، ولكنها ، بفعل ما تقدمه من « مادة دهنية » تلعب دوراً مباشراً في التغذية ، والأملاح التي تحتويها ليست إلا عوارض من حيث وجودها ومحفزات من حيث مفعولها . في سنة 1810 دعم أ . د . A.D. Thaer نظرية تنسب إلى هذه الحوية بالذات . وفي سنة 1835 رعى تريفيرانوس Treviranus طرحاً كان فالريوس قد انتحله منذ عهد قريب . واستمر بعضهم يعتقد مع أرسطو أن النبتة تستمد من التربة الغذاء الجاهز الخالص « يابولم فيتا » « Pabulum vitae » وهو غذاء ولّد مع ولادة الكون : إنه شكل آخر من أشكال الحوية ذاتها .

منهج سوسور . . في هذا المناخ من الجهل والتخلي ، والاسترسال مع المعجزة قام سوسور ببحرته . لا شك أنه كان يركز على نقط ارتكاز قوية . لقد تعرف برتوليت ، بعد اكتشافات لافوازييه ، على المكونات الأساسية للمادة الحية : كربون ، هيدروجين ، أوكسجين ، آزوت . ومنذ 1793 ، أعلن لافوازييه تصوراً ملهماً لبداية التغذية عند النباتات : ان هذه « تستمد من الهواء المحيط بها ومن الماء ، وعلى العموم من المملكة الحيوانية ، المواد الضرورية لتسريبها » . وقام برستلي وأنجنهوس وسينبيه

(Senebier) بإصدار ملاحظات حاسمة ، ومع سوسور طلع النهار فوق الأفق كله . فاختار بثقة حازمة وكاملة الطريق «الوعدة» والمتبعة طريق رجل العلم ، الطريق التي تستبعد كل منهج لا يركز على التجربة ، وكل حكم لا يستند بشكل مطلق على العقل . وكانت عقيرته قائمة على التمسك بهذا الموقف الصائب النظري ، ثم تجسده في الواقع العملي . ان احترام الحقيقة ، أو الخوف من التأكيد المجاني حلاء على وضع جداول بالتحليلات العديدة ، ثم بنشرها حتى يمكن الحكم على الظروف التي عمل بخلالها ، وعند الضرورة ، إعادة إجراء تجاربه الخاصة . وهذا الجهد في وضع ميزانيات حول التغذية ، لم يتكرر شيئاً إلا بطريقة التحليل الكمي (المطبقة في الكيمياء بفضل لافوازييه) والتي أصبحت كلاسيكية فيما بعد .

النتائج المحاصلة .- توصل سوسور (وهو يستعمل لأول مرة النظام المتري) الى استخلاص سلسلة كاملة من الأحداث الأساسية :

1 - قال برتوليت وآخرون بأن النباتات تفكك الماء وتأخذ عناصره . وأثبت سوسور ذلك بالتجربة ، وبشكل الجاهلي في عصره .

2 - لاحظ بريستي أن النباتات الخضراء ذات خاصية تمكنها من تنقية الهواء الملوث عن طريق الاشتعال أو الحرق (الكلوروفيل) . وبين انجنهوس وسينيه ان الأوراق الخضراء تحلل الغاز كربونيك لتأخذ منه الكربون وتطلق الأوكسجين . وأثبتا أيضاً أن هذا العمل يتم بالتعرض للشمس ، وأن هذه تعمل لا بحرارتها بل بنورها . وبناء على تجارب عديدة ودقيقة قدم سوسور البرهان على وجود وظيفة أساسية ، وأن النباتات الخضراء لا تأخذ الكربون إلا من الغاز الكربونيك الموجود في الهواء . ومن جهة أخرى توصل الى الاستنتاج أن تثبيت الكربون من قبل النبتة يقترن باستخدام أوكسجين الماء وقسم⁽¹⁾ من الأوكسجين الناتج عن تفكك الغاز كربونيك (والقسم الآخر يتحرر) كما يقترن بزيادة في الوزن . وهكذا تم توضيح العلاقات بين تمثل عناصر الماء وتمثل الكربون .

3 - وفيما خص الأزوت بدا سوسور أكثر تحفظاً ولكنه أثبت أيضاً أن هذا العنصر يأتي من محاليل في التربة ، وهو حدث مهم في زمن ساد فيه الظن بأن النبتة تمتص أزوتها من الهواء .

4 - وأقام عملاً كاملاً ، وأساسياً بشكل مطلق ، فيما يتعلق بالهوموس (أو التربة العضوية) وبالألملاح المعدنية .

وقدم في البداية تعريفاً للهوموس أو التربة العضوية ، قريباً من تعريفنا : انها مادة سوداء ناتجة عن تحلل النباتات تحت تأثير مزدوج من الأوكسجين والماء . وهو مصدر للكربون بفضل التأكسد ، كما أنه مصدر للأزوت . وهو مادة لا تذوب في الماء ، ولكنها مزودة بفعل الأملاح التي تحتويها ، بقدرة على التخصيب . وأضاف أن الهوموس ، يحتوي رماده على كل خصائص رماد النباتات . وبين أن العناصر المعدنية تلعب دوراً أساسياً ، وأن كميتها الضعيفة في النبتة ليست إطلاقاً مؤشراً على عدم الفائدة . واكتشف كيفية تسرب هذه العناصر ، تسرب يتم في حالة الذوبان . وأوضح الخصائص المتعددة لهذه

(1) نعرف اليوم أن الأوكسجين المحرر يتأق مع الماء ، وليس من تفكك الغاز كربونيك .

العناصر المعدنية ومنها : ميوعة محلولاتها ، انعدام القدرة الانتقائية عند مستوى الجذور ، تغير سرعة الامتصاص تبعاً لنوعية الأملاح ، علاقة نسبية بين التركيب أو كمية الرمد من جهة ، ومن جهة أخرى موعة النبات ، وظروف المكان ، والعضو المعتبر ، ومرحلة تطوره (وبعض الملاحظات المعلقة بهذه المناسبة الأخيرة لم تتأكد إلا بعد مرور قرن من الزمن على يد ماكالموم) . وفي كل مرة كان يجهد في إعطاء الوقائع المقررة بفضل تجاربه تفسيرات فيزيائية كيميائية : وعلى هذا كان يتذرع بالسيولة وباللزوجة لتفسير التسرب . واعتقد من جهة أخرى أن الأوراق تلعب في التغذية المعدنية ، ويقدر بسيط ، دوراً يشبه دور الجذور (فالعناصر الترابية المعلقة في الهواء تستقر على النبتة ، وتحلل في ماء التكتف) . (ودلت أعمال حديثة ، 1955 ، استعملت الأيزوتوب المشع أن تسرب العناصر المعدنية يتم أيضاً عبر الأوراق والجذوع ، ومن هنا أهمية رش السماد على الأوراق الجارية أحياناً) . ومع العمل الذي قام به سوسور توضحت مسائل التغذية بشكل مدھش . إن النبتة الخضراء تأخذ تقريباً كامل احتياجاتها من الفضاء ومن الماء (كربون ، هيدروجين ، أكسجين) . أما الأزوت والأملاح المعدنية فتأخذها الشجرة مذوبة من ماء التربة . وهذه الأخيرة ، وإن بكميات ضعيفة ، لها تأثير قوي على النمو . هناك امكان ثلاثة لتدخل الماء والفضاء والتربة

II - نظرية التنفس (التنفس التخميري والتحول التخميري : ديامتاز)

تنفس النباتات - في سنة 1777 اكتشف لافوازيه عملية التنفس عند الحيوانات . وفيه بعد بقليل (1779) بير انجنهوس إن النباتات (بأزهارها وجذورها) تلتو الهواء المحيط ، وهذا في الليل وفي النهار . وهذا الحدث أكد عليه هوبرت سنة 1801 في ما يخص الحبوب في حالة الفريخ . ومن جهة أخرى ذكر لامارك في كتابه « نباتات فرنسا » (1778) وجود سخونة عجيبة في الأغريض (البرعم بعد استطالته) الناضج لنبته « أروم إيطاليا » . وقد أثارت هذه الظاهرة انتباه سينيه (1800) الذي اشتبه بأن السبب هو اندماج الأوكسجين بالكربون . ولكن سوسور ، منذ سنة 1804 ، وبعدها في مذكراته العائدة لسنة 1822 و1833 ، هو الذي عالج مسألة التنفس عند النباتات ، ودرسها لأول مرة ، ومطلولاً عبر تجارب عدة . وتكتشف هذه الوظيفة في بعض سماتها الأساسية : وبعدها نبي أن الحياة الليلية للنباتات الخضراء مقرونة بإعطاء الغاز كربونيك وامتصاص الأوكسجين مع إقرار ماء (حدث جديد) ، ومع إنتاج حرارة . وتبين أيضاً أن الحبوب في حالة البرعمة تنفس ليلاً نهاراً . واعتقد سوسور ، بدون أن يثبت ذلك ، أن تنفس النباتات الخضراء يستمر أيضاً في الضوء .

ونعرف منذ غريشو (1819) ، أن المبادلات الغازية فيما يتعلق بالفطور لا تختلف في شيء عن المبادلات التي تتميز بها الحيوانات .

في سنة 1836 استطاع دوتروشي أن يبين بقوة « أن التنفس هو وظيفة من دات الطبيعة عند النباتات وعند الحيوانات ، وأنه لا يختلف لدى هاتين الطبقتين من الكائنات الا بظواهر ثانوية عارضة » . ويثبت بشكل خاص وجود علاقة بين حركة النباتات ووجود الأوكسجين . وتمت خطوة كبيرة باتجاه مماثلة للتنفس عند النباتات بالتنفس عند الحيوانات . ومع ذلك فالنظرية لم تتركز . فقد

استمروا يخلطون بين وظيفتين مختلفتين ومتعارضتين ، ولكنهما ، في النهار تسراكان : من جهة هناك تمثل الكربون (في النباتات الخضراء) ومصدره الغاز كربونيك الموجود في الهواء ، ومن جهة أخرى هناك التنفس . واعتبرهما سوسور مظهرين لعملية واحدة ، وسماهما الشيق الليلي والزفير النهاري . وتكلم دوتروشي عن أسلوب طبيعي عادي في التنفس في الضوء ، وفيه تحرر النبتة الأوكسجين الذي تحتاجه من جهة أخرى ، كما تكلم عن أسلوب إضافي ملحق (في الليل) .

وفي سنة 1847 اكتشف ش. لوري بوضوح بالغ مرتبتين من الطواهر : 1 - الطواهر التي تتم تحت تأثير الضوء في الأقسام الخضراء ، وهي عمليات تفاعلية حقيقية احتزالية ترافق تثبيت الكربون وامتصاص الحرارة . 2 - « الطواهر التي تقترب من الطواهر الكيميائية في تنفس الحيوانات ... » . ولأسف ، لم يتم التعرف على استمرارية الظاهرة في هذه الحالة الأخيرة . وحده التبرعم والتزهير ولا على تصاعد الحرارة « التي لها ذات المنشأ الذي للحرارة الحيوانية » .

وبقيت مسافة قليلة يجب اجتيازها للوصول الى الاكتشاف الكبير الذي حققه الصيدلاني غارو Garreau ، الذي قرر بناء على تجارب دقيقة (1850- 1851) ، أولاً استقلالية الوظيفتين ، وثانياً استمرارية العمل التنفسي وشموله كل أجزاء النبتة . وأصبحت المماثلة مع التنفس الحيواني ثابتة بعد الآن ، وبعد نصف قرن من الجهود . وكان من الواجب أن تقع هذه النتيجة المتظرة بشوق ، والتي توصل إليها بأن واحد موهل (1851) وغارو ، العلماء المعاصرين . ولكن شيئاً من هذا لم يحدث . أليس من المعبر أن نجد - مقروناً بنص غارو في حوليات العلوم الطبيعية ، ملاحظة من التحرير (أ.د. بروبيارت وج. ديكن) تعارض اردواجية الظاهرتين المعنيتين ، وتظهرها « كتمييز لفظي أو في الكلمات » . هذا التمييز لم يقبل عموماً إلا أعمال الفيزيولوجي الألماني الكبير جوليس ساش (1832- 1897) . في كتابه الشهير « لربوش در بوتانيك » (Lehrbuch der Botanik) (طبعة ثالثة ، 1873) ، أعلن هذا الكاتب بوضوح المفهوم (الميكانيكي الخالص) الذي توصل اليه في القرن التاسع عشر . فمنذ ليبس (1840) ، لم يعد هناك جدل حول أن الحرارة الحيوانية هي ببساطة حصيلة تفاعل فيزيائي كيميائي . ان التنفس عند النباتات يشبه تماماً التنفس عند الحيوانات : إنه احتراق بطيء ، مستمر ، داخل كل الأنسجة . امتصاص الأوكسجين ، وتشكل مقارن للغاز كربونيك وللماء ، وتحرير للطاقة الحرارية (المتحركة) تلك هي المظاهر الأكثر بروزاً . هذا التنفس يرتبط بحركة البروتوبلاسم ، وبالمنمو ، ويقترن دائماً بابتلاع وتحطيم الأطعمة (شحوم وهيدرات الفحم) .

هذه النتائج تلخص مرحلة انطلافاً منها تموضعت المسائل على الصعيد الفيزيولوجي العام ، ووراء عملية مبالغ في تبسيطها قليلاً . وسرعة قصوى ، وفي الربع الأخير من القرن التاسع عشر ، بدت نظرية التنفس - الاحتراق - التي توضح تماماً النتائج الاجمالية للموظيفة - عبر ملائمة إطلاقاً لعدد كبير من الطروحات المستقرة ، فيما يتعلق بالحيوانات أولاً ثم فيما يتعلق بالنباتات ثانياً . وحام الشك حول عملية ذات تعقيد كبير ، ورفض كلود برنارد لفظة احتراق ، واستطاع بحق الكلام عن « معادل للاحتراق » ونعرف الآن أن الأوكسجين الحر لا يلعب أي دور مباشر في أكسدة الخلايا العضوية وأنه يتدخل فقط في المرحلة النهائية (المسماة دورة كرس) بعد سلسلة طويلة من التفاعلات اللاهوائية

ولكن هذه الفكرة العظيمة المتعلقة برابطة التنفس بالتخمر لها جذورها العميقة في القرن التاسع عشر (كلود برنار ، 1876 ، كان يرى في عملية التنفس « نوعاً من التخمر ») ؛ وهو قرن نرى فيه تيارات البحث المتعلقة بكل من هاتين الظاهرتين تسير جنباً إلى جنب لتلتقي أخيراً ثم تتطور لتصل الى المفهوم الحديث .

التخميرات .- كانت التخمرات معروفة منذ زمن بعيد ، ولكن ابتداء من سنة 1861 ، وبفضل أعمال باستور ، تمت الاكتشافات الأساسية بشأنها (حول هذه المسألة تراجع دراسة ج. جاك ، الفصل VII القسم III ، ودراسة م. كوليري ، الفصل السابق) . في سنة 1835- 1837 ، اكتشف كانيلادي لانتور تكتائر الحبيبات أو الفقاقيع في خميرة البيرة : انها كائن حي إذاً . هذا الحدث المهم وجهه باستور . وظن برتيلوت سنة 1858 أن التخمر الكحولي يجب أن ينتج عن فعل دياستاز تفرزه الخميرة . إنها فكرة لم تنضج ولا شك ، ولذا لم يكن لها الا القليل من الصدى : وقد حاول باستور عبثاً التوصل الى هذا « الدياستاز » ، ولكنه بين أن التخمر هو دائماً من فعل كائنات حية ، وانه يحدث بغياب الأوكسجين . « إنه الحياة بدون هواء » . ومفهومنا الحاضر ، أكثر اتساعاً ، ويشمل أيضاً غط التخمر الأستيتيكي الذي يحدث في الهواء . إلا أن الجدة العظيمة في الاكتشاف لم تغب عن أحد . فقد كانت تتضمن نتائج ضخمة عملية ونظرية . إن التخمر الكحولي يعود بالتالي الى تأكيد غير كامل يصيب الغلوسيدات وسببه كائنات حية هي الخمائر (الفطور الزقية) في أماكن ينعدم فيها الهواء (مع تشكل كحول وأنيدريد كربونيك) . ولأقت هذه النظرية معارضة شديدة .

الدياستاز أو الأنزيمات .- لحظ الكيميائي الألماني بوكسر Buchner مرحلة جديدة في البحوث المتعلقة بالتخمير . في سنة 1897 توصل هذا العالم الى استخراج عصير انزيمي معقد سماه سيماز Zymase وذلك من عصائر الخمائر المطحونة والمكبوسة ، وفيها بعد عزلت مكونات هذا الأنزيم ودرست . وبمفعوله تم الحصول في المختبر (في بيئة مصطنعة) على تحويل الغلوكوز الى كحول . وتسجلت دراسة هذا السيماز ضمن سلسلة من الأعمال شكل مجموعها علم الأنزيمات . ومنذ 1814 بين كيرشوف Kirchhof ان الشعير النابت يؤثر تأثيراً مساعداً فيحول النشاء الى غلوكوز . وتفسير هذه الواقعة قدمه بايان Payen وبرسوز Persoz (1833) اللذان عزلا ، من ملطة ، الشعير دياستازا . وهذا الاسم الذي أطلقه على هذه المادة الجديدة ما يزال يُستعمل اضافة الى اسم انزيم وتخمّر . وطيلة القرن تالتت اكتشافات الدياستازات : منها إمولسين Emulsine (ليبينغ ، 1837) ، ليزاز (كلود برنار 1849 ، بيلوز Pelouz ، 1855) ، سكاراز (برتيلوت) لاكارز وتيروسيناز (ج. برنار ، 1895- 1896) ، الخ . وقامت أعمال على الصعيد البنيوي أو الوظيفي بزخم شديد ؛ ومنذ 1898 تم اكتشاف مفهوم الارتدايدة في العمل الدياستازي (كروفت - هيل Croft-Hill) .

التنفس اللاهوائي .- في سنة 1875 جذب الزيفوفيزيولوجي (عالم فيزيولوجيا الحيوان) فلوجر Pflüger الانتباه الى واقعة مفادها أنه في غياب الأوكسجين تستمر التفككات التي هي في منشأ التنفس الحيواني . ان التنفس عبر الخلية بحسب تعبير بيفر Pfeffer (1878- 1885) - الذي اطلق هذه التسمية على العملية المؤدية الى انتاج الانيدريد كربونيك في الأنسجة الحية من نبتة في موضع معدوم الهواء

هذا التنفس سبق ولوحظ في الماضي (رولو ، 1798 ؛ سوسور 1804 ؛ بيرار ، 1821) ، ولكن مع عدم وجود ضمانات تجريبية . وهناك تجربة بقيت شهيرة قام بها الكيميائيان الفرنسيان كوشارتيه Lechartier وبللامي Bellamy ، سنة 1869 . وأعيد إحرازها عدة مرات (باستور ، 1872 ؛ مونتر Muntz ، 1878) ، وحُسن (مازي Mazé 1900 ، ماتروشو Matruchot وموليارد Molliard ، 1903 ، موليار 1907) . وبينت هذه التجربة - بعد تفسيرها تفسيراً صحيحاً فيما بعد - ان التخمر الكحولي هو ظاهرة عامة وان الخلايا الأكثر تنوعاً في الفانيروغام (Phanérogames) خاصة الأغني بمادة السكر ، تدخل في التخمر إن حافظنا على أعضاء النبتة ، وحتى على مجموعها ، في فضاء محبوس : هناك انتاج للكحول وللأندريد كربونيك بفضل الغليكوز المحروم من الهواء . وهذا المفهوم الرئيسي قد قوي ، منذ 1903 ، بفضل أعمال ستوكلازا Stoklaza وتشرنى Czerny اللذين أثبتا وجود السبماز في أنسجة النباتات المتنوعة وحتى في أنسجة الحيوانات . وابتداء من سنة 1888 ، أدى نشر دراسات بالادين ودراستات كوستيشيف خاصة الى حدوث تصور وحدوي ، وهو تصوّر يرى وجود علاقات وثيقة بين التفاعليات التي تجري في الهواء أو بدون هواء في عملية التنفس .

III - دوتروشي مؤسس الفيزيولوجيا العامة

بعد سوسور ارتدت البحوث الفيزيولوجية نشاطاً حاداً على يد الطبيب والعالم الطبيعي الفرنسي هـ. دوتروشي Dutrochet ، بأن واحد على الصعيد النظري وفي مجال الوقائع المحددة . كان دوتروشي ضد النظرية الحيوية عن قناة ، فطوّر مفهومأ وحدويأ للطبيعة العضوية والمعدنية ، الطبيعة التي اعتبرت محكومة بقوانين فيزيائية - كيميائية من غط واحد وحيد . وفي سنة 1837 أكد دوتروشي ، بعد لاميتيريه La Méthene على وجود فيزيولوجيا واحدة ، وهو علم عام يتناول وظائف الكائنات الحية ، وكان يأمل ، بحسب تعابيره بالذات ان تتبع محاولاته الأولى قيام « علم جديد هو الفيزيولوجيا العامة » ذات يوم .

وبفضل أحد الاكتشافات الأكثر بروزاً في العصر ، هو اكتشاف الامتصاص أو الأوسموز (1827) ، وبفضل تطبيقات مكتشفة في دراسة المظاهر الحيوية المتنوعة غير المفسرة حتى ذلك الحين ، ظهرت أعمال دوتروشي أمام الانتباه العام . والواقع فتحت هذه الأعمال آفاقاً واسعة أمام الفيزيولوجيا وبذات الوقت افتتح حقل جديد أمام فراسة الفيزيائيين . لقد لاحظ دوتروشي ما يلي :

1 - ان بعض الأغشية العضوية تتميز بتمرير الماء النقي عبرها وتوقف الخلايا المذابة في السائل

2 - اذا وجد محلولان قابلان للإندماج ومختلفان من حيث التركيب ، وتفصل بينهما مثل هذه الغشاة المسماة نصف نفائة ، يقوم تيار مائي (تيار الأوسموز الداخلي) بين السائل الأقل تركيزاً نحو السائل الأكثر تركيزاً . والشروط التي عمل ضمنها دوتروشي لم تتح له بلوغ دقة كبيرة . فالأغشية التي استخدمها لم تكن نصف نفائة إلا بالمعنى الواسع ، أما النفاذ الداخلي فقد كان يلاقي معارضة من التيار النفاذي الخارجي . وبفضل التجارب المتكررة ، ضمن شروط محددة ، ومختلفة كل مرة ، حاول دوتروشي ان يستخلص جوهر العملية . وصنع أوسمو - متراً أو مقياساً للنفاذ حتى

يستطيع قياس الضغط النفاذي. وخطرت له فكرة جهاز أكثر كمالاً وفيه تكون الأغشية غير عضوية ومن نوعية عالية. وخطرت له أيضاً فكرة مقارنة آلية بمقياس النفاذ (أوسمو - متر) واستنتج من هذه الواقعة عنصر تفسير متعلق بالدوران وبمعدود النسخ عند النباتات. ولا شك أنه أخطأ في عدد من النقاط، ولكننا نجد في مذكرات دوتروشي بدايات مسالك سوف تتميز بها أعمال بيفر Pfeffer وأعمال هـ. دي فري H. de Vries وأعمال فانت هوف Van't Hoff وأعمال أرهينيوس Arrhenius. وبعد نصف قرن من الزمن نجح بيفر في بناء مقياس نفاذ مكون من غشاء من الصلصال مبطن بفيلم من السيانون الحديد النحاسي، واستطاع القيام بقياسات ووضع معطيات دقيقة حول ظاهرات النفاذ أو الأوسموز. ودرس هـ. دي فري حوالي 1883 - 1885 الخلية لكونها معيار نفاذ، فحقق السلسلة الجسمية من أعماله حول البلاسموليز Plasmolyse [أو انقباض البروتوبلاسم عند انقطاعها عن الغشاء الخلوي] واستعمل الخلية كمقياس نفاذ بيولوجي. وأخيراً أعلن الفيزيائيان فانت هوف (1884) وأرهينيوس قوانين النفاذ وتوصلا إلى طريقة بسيطة ودقيقة للقياس عن طريق ما يسمى بالكريومتر Cryomètre أو التحارر القوي. (راجع بهذا الشأن دراسة ج. جاك الفصل VII من القسم III).

IV - بنية الماء

الامتصاص، التجول، التعرق. - يلعب الماء دوراً رئيسياً في حياة النباتات. فهو مكون أساسي في البروتوبلاسم، التي هي المكان الذي تحدث فيه التفاعلات الميثابولية أي الأيضية، كما أنه عنصر انتفاخ وتورم أو احتقان، وهو أي الماء، وسيلة نقل الأملاح وغيرها من المستحضرات.

وبعد اكتشاف الأوسموز سنة 1826 أتاحَت المعارف المجتمعة، النظر، من خلال قواعد مقبولة بصورة جزئية، إلى أهم المسائل المتعلقة بالماء: الامتصاص، التجول، التعرق. والواقع لم تنجح جهود دوتروشي إلا نصف نجاح. فقد دلت محاضرة الفونس دي كاندول (1835) على مدى الغموض المحيط بومثل هذا القسم من العلم. فقد كانوا يتكلمون، كما في القرن السابع عشر، عن حركات شمعية وتقبضات حيوية. وركز بيرام والقوس دي كاندول على القوة الحيوية. فهذه القوة - لا القوى الفيزيائية، والقوى الثانوية مثل الأوسموز ومثل العملية الشعرية - هي التي تتدخل بصورة أساسية في صعود النسخ، وربما أيضاً في عملية الامتصاص (نظرية العملية الاسفنجية) وولاً بأن الأوعية لا تلعب أي دور ذي قيمة في نقل السوائل. فهذا النقل يتم بفعل الثقوب الموجودة بين الخلايا، وبفعل تقلص الخلايا تقلصاً يؤمن تقدم النسخ. وكانت نظرية الحيوية في هذا المجال قوية بشكل خاص، ومبينة بسلسلة من الأعمال قام بها كل من: غودلوسكي Godlewski (1844) وسترمار Westermaier (1883)، جانس Janse (1887)، شوندينز Schwendener (1892)، بوز Bose (1924)، موليش Molish (1924) وآخرون. إلا أن دوتروشي رغم ذلك عرف كيف يحسن توجيه المسألة، مع ترده في إصدار حكم جازم حول سبل النقل. وقد أكد على التمييز الذي قال به هالس Hales بين الدفع (أو الدفعة الجذيرية)، والجذب الناتج عن التعرق عند مستوى الأوراق. وفي الحالتين، ارتكزت تفسيراته على الأوسموز وعلى الشعرية. والأوسموز أيضاً هو الذي يتسبب، في نظر دوتروشي

في الامتنصاص عند مستوى الشعيرات الماصة الموجودة في الجذر .

وطيلة القرن التاسع عشر جرت بحوث عديدة لاستكشاف هذا القطاع الصعب رغم أهميته القصوى ، في مجال الفيزيولوجيا . ويّسن هـ . فون موهل H. Von Mohl (1851) عجز الأوسموز عن تفسير صعود النسغ في مجمله . وقدم ج . بوهم J. Boehm (1863) البرهان على الانتقال داخل الأنسجة الميتة . وعكف ساش Sachs طويلاً على هذه المسائل وساهم في استخراج أوجهها الرئيسية . فقد رجع الى انتقاد موهل ضد الأوسموز وتوصل الى اقتراح نظرية الترطيب أو التشيع وبموجبها يرتفع الماء ضمن الأغشية الخلوية لا في فتحات الأوردة . وهو مفهوم يّسن ج . فاسك J. Vesque سنة 1876 خطأه وضلاله . يتوجب الوصول الى ستراسبورجر (1891) حتى يتم توضيح مهم للمجمل المضطرب من الوقائع ومن الفرضيات . ولم يكن العمل الرئيسي للفيزيولوجي الألماني ، إجمالاً إلا اعترافاً بالجهل ، ولكن كان له أهمية حاسمة . فقد طرح المسألة بدقة : إن صعود النسغ الحام يتم من خلال ثقبوب الأوعية ، وهذا الصعود قوامه تفاعلية فيزيائية خالصة ليست أسبابها معروفة إلا بصورة جزئية ، وتلى هذا العرض انتقادات عديدة (خاصة من قبل شوندينز) وتلاه أيضاً وبشكل خاص أعمال باهرة قام بها ديكسون وجولي (1894-1895) في انكلترا ، واسكينازي (1895) في ألمانيا ، الذين نشروا بأن واحد تقريباً نفس النظرية المسماة التماسك (وهي نظرية فكرتها الأولى تعود الى بوهم 1892) . وهذه النظرية التي فرصت نفسها رغم بعض الضعف فيها تتيح فهم صعود النسغ الى علو مرتفع جداً . وهي ترتكز من جهة على تألف الخلايا فيما بينها في جسم معين (الماء مثلاً) ومن جهة أخرى ترتكز على الحركة التي يمكن توصيلها داخل نظام متماسك محدد ؛ هذا النظام يتحقق في النباتات : فتألف الماء المحررة بفعل التبخر عند مستوى الأوراق تستندل تناعاً بالخلايا السائلة الأكثر قرباً ، وتألفات يس المرحلة السائلة والمرحلة الجامدة ، أي تشيع الأعشية الخلوية في الأوراق بالرطوبة) ، وبمجل النظام ، مع ما فيه من أوعية مملوءة بالماء ، يمثل كتلة مستمرة من السائل ، دائم التغذية من القاعدة (من جراء ثقبوية التربة) . وفيما بعد ساهمت أعمال رينسر (1910) ، ويود (1923) ، وماك دوغال (1929) ، على تطوير وعلى دعم هذه النظرية بصورة أفضل .

وهكذا ، في أواخر القرن ، وجدت الوقائع المهمة بحيث تمكن العلم من إعطاء تعبير مرض نوعاً ما عن مجمل المسائل المتعلقة بالماء في النباتات . فالامتصاص (أوسموز) ، والشعيرة ، والتشيع بالرطوبة (الترنيخ) ، والتماسك كلها ما تزال حالياً القوى المستعملة لتفسير الامتنصاص والتجول الأفقي ، وصعود الماء في الجسم الساتي . وبالطبع تنالت الأعمال ، وتم توضيح العديد من النقاط الغامضة . والتائج التي حصل عليها دي فري ، ثم بعد 1916 ، أورسبرنغ ، حول الامتنصاص داخل الخلايا عادت وأعطت لهذا المفهوم الأهمية التي يعطيها إياها دوتروشي . ويّسن أورسبرنغ بشكل خاص بأن قوة امتصاص الخلية ، وطاقتها على المص والرشف ، يجب أن لا تخلط مع الضغط الارتشافي ، فهذا الضغط قد يكون مرتفعاً جداً في حين يمنع الضغط على الغشاء الخلوي كل رشف أو امتصاص . وأتاحت أعمال أورسبرنغ Ursprung فهم الرشف ومسار الماء في البرانشيمات أو الأنسجة الحشوية ، ومروره عبر الأوعية ، وبشكل عام ، التزويد بالماء لكل الجسم الحي ، ليس عن طريق الضغط الارتشافي بل بسبب هذا الضغط المنقوص منه الضغط الحاصل على الجوانب ، أي القدرة

الماصة التي ترتبط بمكان الخلية في النسيج وفي كامل الجسم .

التعرق أو الرشح .- هذه الظاهرة لم يفسرها انتباه الفيزيولوجيين منذ أعمال ستيمس هال S. Hales الذي بين الدور المهم للتبخير (عند مستوى الأوراق) في صعود النسج . وبينت أعمال غارو (1849) التي أصبحت اليوم كلاسيكية أن تعرق الأوراق ، ضمن شروط معينة ، يتعلق بصورة رئيسية ، بعدد المسام . وانه يبدو أيضاً ، إنما بشكل ضعيف فوق مساحات الأوراق الخالية من المسام ان عمل الخلايا المسامية ، ما يزال غير معروف تماماً في أيامنا ، ولكنه سبق وأوضح من قبل « فون موهل » سنة 1856 ، الذي أثبتت أعماله دور التورم . في سنة 1878 أثبت « ج. فاسك Vesque » تجريبياً تعرقاً ملموساً في القشرة ، من الأجزاء الهوائية الطرية في النباتات . وتم التساؤل عن العناصر الخارجية والداخلية التي تتحكم بهذه الظاهرة ، وعند ضخامة التبخير الذي تعرف آثاره في المناخات . كل هذه المسائل كانت موضوع تجارب . فقد تم قياس الخسارة في الماء ، الكبيرة جداً ، وتم توضيح تأثير الحرارة ورطوبة الجو ، والضوء ، ولكن البحوث الناشطة حقاً والزخيمة ، والمتعلقة بالتعرق لن تبدأ في الظهور إلا في مطلع القرن العشرين .

المواد الذاتية : النفاذ ، التوزيع ، النسخ الكامل .- بخلال القرن التاسع عشر ، وخاصة بفضل همه فون موهل ، وناجلي ، وساش ، وفيفر ، ودي فري ، استمرت البحوث المتعلقة بنفاذية الخلايا ، ناشطة ، كان سوسور (1804) مقتنعاً تماماً بتعقيد المسألة ، ففكف ، ليس فقط ، على تبيين دور العناصر المعدنية في التربة ، بل وأيضاً على تبيين أنها تنسرب داخل النبتة في حالة اللذويان . في سنة 1810 اثبت روفز Ruz دي لافيزون دور القشرة الخارجية في استقاء المواد الذاتية . وهذه المواد المرفوضة من قبل سيتوبلازما cytoplasma البرنشييمات الجذورية ، يمكنها مع ذلك أن تنسرب في الشعيرات الماصة ثم تنتقل حتى تصل الى « الأندودرم » بفعل قوانين الفيزياء ، متجولة في كامل الأغشية القشرية السلوليزية . ولكن في داخل الأندودرم ، تستقوي هذه الحواشي أو الأغشية الحاجزة بإطار فليبي غير نفاذ : ان اجتياز « السيتوبلازم » يصبح هنا ضرورة بالنسبة الى المواد المخصصة للدورة العامة .

ومع فيفر ، قدمت لنا ، لأول مرة ، نظرية النفاذ الخلوي ، أمام الماء والسوائل . في كتابه عن الأوسموز « اوسموتيش سوشنجن Osmotische ... » (1877) قرر فيفر من جهة ، حقيقة وجود علاقة بين تسرب مثل هذه المادة في السيتوبلازم ، كما أثبت من جهة أخرى ، رقة الغشاوة البلاسمية ، وعشق هذه المادة لهذه الغشاوة . وأدت أعمال فيفر مباشرة الى الأعمال المهمة الأساسية التي قام بها س. ي. أوفرتون Overtone (نظرية الشحمية أو الدهنية ومفهوم التسرب الناشط أو الغدي) ، ثم ، ابتداءً من سنة 1890 ، إلى البحوث الحديثة .

ولم تصبح بالحسيان ، البحوث المتعلقة بالنسخ الكامل ، أي الماء المشحون بالمواد العضوية القابلة للذويان ، رافلتاً من النشاط الأيضي ، إلا ابتداءً من النصف الثاني من القرن التاسع عشر خاصة مع ساش وفيفر . وبالنسبة الى ماليجي ، يرتفع النسج الحام من خلال الاسطوانة المركزية الى الأوراق ، ثم ينزل بشكل نسخ مكتمل أي مركز من خلال الأنابيب اللبيرية [التجب : طبقة سفلى من اللحاء بين القشرة والخشب] من الكم الجواني . وهذا الرأي أثبتوه وأكدته . هارتيج Hartig

(1837) ، الذي أجرى دراسة تشريحية وتجريبية على الأنسجة المعنية . وأدخلت تصحيحات جديدة على هذه الآراء بفعل الأعمال الحديثة .

امتصاص وتحول الغازات .. اكتشف العالم النماني تريفيراثوس الثقوب بين الخلايا سنة 1806 ، وظنها مخصصة لتحويل النسخ . ويعود الفضل في معرفة دورها في جر الغازات إلى أميسي ، سنة 1823 . إن بعض المسائل الأكثر قرباً (دور المسام والعديسات ، والقشور الشمعية) كوتين يشكل مع السليلوز قشرة النبات) ، وتفاذية « البشرة » في النباتات الخالية من المسام هذه المسائل كلها حُلّت ، أحياناً بدون جهد ، بخلاف القرن (دونروشي ، 1832 ، غارو ، ساش) . والكثير منها مرتبط تماماً بالمسألة العامة ، مسألة الامتصاص وتحول السوائل .

تسرب الغازات إلى داخل الخلية في حالة الدوبان (في الماء أو في المادة البلاسمية بالذات) ، وفقاً للأولية التي تنظم دخول المحلولات .

V - التغذية المعدنية

إن النتائج الحاصلة هي التي عبر عنها بوضوح خالص سوسور ، منذ سنة 1804 ، بعد أن كانت تقريباً بدون مفعول على العلم طيلة عدة عقود . إلا أن هذه النتائج فتحت طريقاً تبين أنه غصب بشكل مدهش . إن أعمال ج. ل. ليسيني J.L. Lessaigne (1821) ، وأعمال ج. س. شوبلر Schubler (1830) وأعمال و. أ. لامباديوس (1832) وأعمال ب. ي. جابلوسكي (1836) ثم أعمال ش. س. سيرنغل (بين 1826 و 1852) تعتبر معالم في العلم ، قبل المرحلة الحاسمة المطبوعة بوجود آ. ف. ويغمان ول. بولستورف L. Polstorff (1881- 1880) اللذين بينا بواسطة تقنية دقيقة ، الدور الاحمالي ، ونشأة العناصر المعدنية التي دل عليها تحليل الباتات : التأكيد النهائي على بطلان المفاهيم الحيوية ، وعلى صحة استنتاجات سوسور .

جوليس فون ليبج Julius Von Liebig .. يعتبر ليبج معلماً في تاريخ الكيمياء العضوية والكيمياء البيولوجية والزراعية . فقد أغنى معارفنا باكتشافات أساسية كما أنه أعطى دفعة غير عادية لتطور التعليم والبحث ، ضمن عقلية إيجابية قوية . وقد دعم بحرارة ، بفضل نظريته المعدنية حول الأسمدة ، أن الهوموس Humus (دبال أو تربة عضوية) لا علاقة له إطلاقاً بخصوبة الأرض ، وإن النبتة تنغذى بالأملاح المعدنية وبالماء وأنها تأخذ الكربون والأزوت (بشكل آمونياك) من الفضاء . والأزوت الأمونياكي لا يوجد إلا بكمية بسيطة جداً في الفضاء .

وقال بوجود تمثّل للأسيد كربونيك عبر الجذور ، وضمن بعض الظروف ، وإن هو أخطأ تماماً حول أصل الأزوت الذي تشربه النباتات ، فقد امتاز ، مع ذلك ، بأنه بين أن هذا الجسم لا يستعمل إلا في حالة الاندماج مع جسم آخر . ومفهومه للأملاح المعدنية حمله على تعريف القوانين الأساسية للزراعة : إن العناصر المعدنية هي في التربة بكميات محدودة وما هو مسحوب من التربة من قبل النباتات المزروعة يجب أن يعاد إليها .

وبعد أن كان في منتهى الفائدة ، تبين بسرعة أن المفهوم الفيزيائي الكيميائي عند ليبينج المتعلق بالتربة والمغذوس هو غير ملائم . وهناك مفهوم آخر حل محله وجوباً بعد أعمال باستور . وهو ما يزال قائماً حتى الآن .

العناصر المعدنية .- في سنة 1860 ، ولأول مرة تم ايجاز تقنية في الزراعة هي الزرع في محلول من الأملاح المعدنية ، وذلك من قبل الفيزيولوجي الألماني ج. ساش ، الذي فتح بعمله هذا الطريق إلى أحد الفصول الأهم في الفيزيولوجيا الحديثة . وبعده تم وضع صيغ سوائل تركييبية عديدة (رولين 1863 Roulin ، 1870 ؛ سوب Knob ، 1865 ؛ ي. ولف E. Wolff ، 1866 ؛ فيفر ، 1900) ؛ والصيغة التي وضعها جون رولين ، أحد تلامذة باستور كان لها وقع خاص : فقد أتاح زراعة فطر (هو) اسبرجيلوس نيجر) ، وذلك ضمن شروط تساعد على النمو الأقصى .

والطريقة التركيبية لامكنة الزراعة إذا أضيفت إلى الطريقة التحليلية ، سوف تحقق تقدماً سريعاً ، وخاصة التعرف إلى الاحتياج المطلق على عشرة أجسام بسيطة لازمة لتنفيذ النباتات معدنياً ، وعلى ستة عناصر كبرى تدخل بكميات وافرة : الأزوت والفوسفور (ج. فيل ، 1853 - 1860) ، الكبريت (بيرنر ولوكانوس ، 1866) ، الكالسيوم (سالم - هورستمار ، 1856) ، بوتاسيوم ، (بيرنر ولوكانوس 1865 ؛ نوب ، 1870) ، مانيزيوم (سوسور ، 1804 ؛ فون رومر ، 1883 ؛ ويلستاتر ، 1906) ؛ وأربعة أجسام مساعدة تلعب دوراً بكميات ضئيلة (غريس ، 1843 - 1844 ؛ رولين 1869) الزنك (رولين ، 1859) ، المنغنيز (ج. برتران ، 1897 ، 1905) ، البور (أغولون ، 1910) . وإذا أخذنا في الاعتبار الكربون ، والهيدروجين والأكسجين نحصل على مجموع من ثلاثة عشر جسماً بسيطاً . وبعد ذلك عرفت الحاجة إلى النحاس وإلى الموليبدن (وإلى الكلور في بعض الحالات) ، ولكن النيكل والكوبلت والألمونيوم ، الخ . ظلت موضع جدل .

VI - التغذية الأزوتية

في التغذية الأزوتية عند النباتات العليا ، يجب أن نميز ، من جهة التزود (مصادر ، أشكال ، تفاعليات وسبل الامتصاص) ، ومن جهة أخرى الاستخدام (التركيب البروتيني ، الهجرة) . والمسائل العديدة المتعلقة بالمظهر الأول ، رغم تعقيدها وجديتها الكبرى ، قد حلت كلها تقريباً بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

بوسنغولت Bousingault ووينوغرادسكي Winogradsky : النيترات والتغذية بها .- إن الأزوت ، وهو عنصر أساسي في الأميئات - الأسيدية ، وفي البروتينات وغيرها من مركبات الخلية النباتية ، يتواجد بكميات كبيرة في الفضاء ، بشكل خلايا ، ويتواجد في التربة ، بأشكال متنوعة . ما هي علاقة النبتة بهذا الأزوت ؟

في سنة 1837 ، لم يكن لدينا معلومات دقيقة عن ما سماه العلم الحديث بالدورة الأزوتية . في ذلك الوقت قام بوسنغولت ، بسلسلة أولى من البحوث . كان هذا الأخير زارعاً موهوباً ، من فصيلة

ت. سوسور، ويشبهه من نواح كثيرة: حنّ سليم، وتوازن، خصب في الخيال، جراءة منهجية، حب للكم وللدقة التجريبية. ويعتبر بوسنغولت مع معاصرته ليبغ Liebig وج. ي. مولدر Mulder، كمؤسس للكيمياء الزراعية. فقد أنشأ أول محطة زراعية سنة 1836. وجرب لأول مرة في الحقل مباشرة، وعلى مجموعات. وأعماله حول القيمة الغذائية للمنتجات النباتية، وحول استصلاح التربة بالمناوية، وحول النترات، كانت حاسمة وذات أثر ضخم عملي ونظري.

في تجاربه الأولى (1837-1838)، جهد في معرفة ما إذا كان الأزوت الحر في الهواء يمكن أن تمتصه النباتات، ولكن النتائج التي حصل عليها بدت له متناقضة. فقد ثبت أن بعض النباتات (مثل الفل والجلبانة) المزروعة في تربة اصطناعية بدون مواد معدنية أو عضوية، تكون أغنى بالأزوت من حبوبها التي ولدتها: لا يوجد فائض من الأزوت، في حالة القمح أو الشعير. وبعد ذلك بكثير قادته سلسلة جديدة من البحوث (1851-1855) إلى استنتاج ثابت: أن الأزوت الحر في الهواء لا يستخدم مباشرة من قبل البتة. وهذه النتيجة أكدها العلماء الانكليز ج. ب. لوز، وج. هـ. جلبرت وي. يوف (1861).

ودرس بوسنغولت مطولاً مختلف أشكال الأزوت في التربة وخاصة تكون النترات. ومن أشهر تجاربه واحدة استمرت من 1860 إلى 1871. تربة محلبة بدقة ومعزولة عن الهواء، ضمير زجاجات كبيرة. وفي آخر التجربة لوحظ أنه إذا كان الأزوت في مجمله لم يزد في المقابل كانت هناك زيادة في الأزوت النيتري. وإذا، وبدون أي تقديم للأزوت الحر هناك نترتة، أي تأكيد الأزوت الأمونيائي في التربة. وتمثل هذه النتيجة خطوة أساسية نحو معرفة التفاعلية المدروسة. وقد غمت هذه المعرفة خلال مرحلتين. في سنة 1877 (وجه باستمرار منذ 1862 البحوث في هذا الاتجاه) قام تلميذان لبوسنغولت هما ج. ج. ت. شلوزنغ J.J.Th.Schloesing، وآ. مونترز A. Müntz، بإثبات أن النترتة هي ظاهرة بيولوجية. وأخيراً، وفي سنة 1890-1891 اكتشف العالم بالبكتيريا الروسي الشهير س. وينوغرادسكي الأجسام الميكروسكوبية المنترة (البكتيريا الذاتية التغذية، والتي تعيش بدون هواء) وحدد المبادئ الأساسية في النترتة، فميز البكتيريا التي تعطي النترات والبكتيريا التي تستقبلها. وفضلاً عن ذلك ولأول مرة، تبين أن بعض الأجسام يمكن أن تعيش وإن تنمو في حال انعدام أي أثر للمادة العضوية، فوق تربة معدنية خالصة.

ومن الصحيح ربط اسم بوسنغولت باسم العالم الزراعي جورج فيل Ville الذي بين الأثر القوي للنترات على نمو النباتات.

اللانترتة أو نزع النترات - قبل أعمال وينوغرادسكي حول الطبيعة البيولوجية للنترتة، أبرز بعض المؤلفين الظاهرة المعاكسة ومنذ 1875 توصل موسل إلى إيقاف انخفاض النترات بمفعول المطهرات. وعرفت أعمال ب. ب. ديهيران P.P. Dehérain ول. ماكين L. Maquenne (1882) وخاصة أعمال غايون ودوبوتي عملية نزع النترات. وعزلت الأجسام المخففة ووزعت في مختبر. وكانت هذه الظاهرة ذات الأهمية الرئيسية بالنسبة إلى الزراعة موضوع أعمال متعددة منها أعمال أ. لوران (1880-1890) التي بُنيت أن بعض الفطور (التزانيا، بينيسيليوم) هي أجسام مزودة بالقدرة المخففة للنترات.

الأزوت الأمونيكي .. أثبتت أعمال كثيرة (شلوزنغ، 1874 ، منتر 1889) أن النباتات العليا مؤهلة لامتصاص وتمثل الأزوت المعدني ليس فقط بشكل نيتري (نترات) بل وأيضاً بشكل أمونيأك . يشترط أن يقدم للنبتة بتركيز خفيف . وفيما بعد (1909) قدم م . موليار الأثبات العملي بأن النباتات العليا المزروعة في وسط معقم ، يمكن أن تنقص وأن تمثل الأزوت المندمج عضوياً (الأنتونين ، أسيد أوريك ، غليكوكول Glycocolle) .

تثبيت الأزوت الحر من قبل التربة العارية : برتيلوت ، وينوغرادسكي وبيجرينك . - ابتداء من سنة 1882 فتح حقل جديد خصب جداً بفضل أعمال مرسلين برتيلوت . فاغتنت أراضٍ عارية . سبق وحددت بدقة نسبة الأزوت المدمج فيها - وحفظت ضمن شروط تجريبية محددة جداً ، فاغتنت بصورة تدريجية بأزوت مدمج . وكانت هناك أراضٍ شاهدة ، تعرضت لنفس التجربة ، ولكنها قد سخنت في السابق بحرارة تزيد عن مئة درجة ، فأظهرت نسبة ثابتة من الأزوت . واستنتج برتيلوت بأن الاغتناء بالأزوت المدمج يجب أن ينسب الى نشاط أجسام ميكروسكوبية قادرة على تثبيت الأزوت من الفضاء .

في سنة 1893 ، اكتشف وينوغرادسكي في التربة بكتيريا لا هوائية ، هي الـ « كلوستريديوم باستوريانوم » . هذه البكتيريا لا يمكنها أن تعيش في الأوكسجين . وبالمقابل انها تنمو في وسط مشبع بالغلوكونز وبفضاء آزوتي وهي في الطبيعة دائماً مدموجة مع بكتيريا أخرى تستطيع العيش في الفضاء الحر . إن أعمال وينوغرادسكي المدهشة - إذ اليه يعود الفضل أيضاً باكتشاف شهر هو اكتشاف الكيمياء التركيبية (1887)، بفضل بكتيريا مسلفة - تلته في سنة 1901 أعمال العالم الهولندي بيجرينك Beijerinck ، المشهور بمساهمته المهمة في دراسة أمراض فيروس النباتات . واكتشف بيجرينك بكتيريا هوائية منها اشتق الصنف المسمى « آزوتوبكتري » - وبين ، أنه في الوسط غير الحوامضي « الأسيدي » ، وفوق محلول غلوكونزي تتمثل «الازوتوبكتري» الأزوت الفضائي بقوة . وهكذا وبجمل هذه الأعمال ، قُدِّم الدليل على أن التربة تثبت وتأخذ الأزوت الحر من الهواء .

العقد البكتيرية في الفطائيات والبقول وتثبيت الأزوت الحر : هاريلفيل Helriegel وويلفارت Wilfarth . - سنة 1866 بين العالم النباتي الروسي م . س . ورنين Woronine بأن العقد الجذورية في البقول ملوئة بالبكتيريا وقبل ذلك أبرزت الملاحظة التجريبية العملية عند الزراع ، وأعمال العديد من الفيزيولوجيين ، الدور التحسيني الذي تحدثه زراعة البقول في التربة . في سنة 1886 - 1887 أثبت علماء الزراعة الألمان هاريلفيل وويلفارت ، بموجب تجارب دقيقة للغاية ، إن البقول عندها القدرة على النمو في وسط محروم من الأزوت المزوج ، وذلك بتمثلها الأزوت الحر من الهواء ، بفضل العقد الموجودة في جذورها . إن هذه الأعمال الشهيرة توضح وتؤكدت وطورت فيما بعد (أ . بريال ، بيجرينك ، رازومسكي ، شلوزنغ الابن ، ولورانت ومازي) . وتوصل بيجرينك الى زراعة البكتيريا في المختبر . وسميت هذه البكتيريا من قبل فرنك (1890) « ريزوبيوم البقول » . وفي ما بعد تم تمييز عدة أصناف أخرى .

والخلاصة : دلت الوقائع الحاصلة بين 1838 و1900 على المظاهر الرئيسية التي للأزوت في

الطبيعة . والدورة فيه قد عرفت بكاملها ، ان صح القول : أزوت حر في الفضاء ، أزوت ممزوج في التربة ، أزوت عضوي ممزوج ، ومرتبطة ، من جهة بنشاط بعض البكتيريا ، ومن جهة أخرى ، مربوط بالقدرة الموجودة بالنباتات الخضراء ، والتي تمكنها من تركيب البروتينات الأكثر تعقيداً . وأجل ما في هذه التطورات ، في هذا القسم من العلم ، والتي حصلت بعد 1860 ، لم تكن ممكنة إلا بمساعدة أساسية من علم البكتيريا ، وهو علم جديد ولد بعد أعمال باستور . فالمفهوم الجامد للتربة ، المفهوم اللاتمتحرك ، خلق بمفهوم ديناميكي بيولوجي ، بمفهوم ثوري من حيث النتائج الضخمة التي حققها هذا المفهوم على الصعيد النظري والعلمي .

وفي ما يخص ايض (ميتابولسم) المواد البروتينية في النباتات ، تم إبراز بعض النقاط المهمة منذ نهاية القرن التاسع عشر (فيفر : ساش ، أ . شولز ، د . ن . بريانيكوف ، الخ) ، ولكن الأوليات الإحيائية الكيميائية التي دخلت في الظاهرة ، هي من التعقيد بحيث أنها لم تستطع ، يومئذ ، أن تنحصر للاستقصاءات المحدية حقاً .

VII - التغذية الكربونية . التخليق الضوئي الكلوروفيلي

إن النباتات ذات الكلوروفيل لها القدرة ، مع بعض البكتيريا ، أن تثبت الكربون المعدني . وهي تُكوِّنُ في الضوء ، مع الأسييد كربونيك والماء ، مواد عضوية . والظاهرة تقتن من جهة بتحرير الأوكسجين ، ومن جهة أخرى بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية . هذه الوظيفة المهمة ، كشفت علمياً بين 1772 و 1804 ، من قبل بريستل ، انجنهوس ، سينييه ، سوسور ، فأحدثت إنجازات عديدة كبيرة ، ولكن البحث المكثف قلما بدأ إلا مع نشر مذكرة آ . غري Gris (1857) : دراسة ميكروسكوبية للكلوروفيل ونموه . ومن قبل كان هناك بعض المؤلفين الذين يستحقون الذكر : ب . بيليتيه ، وج . كافنتو الذي اليه يعود الفضل في وضع كلمة كلوروفيل (1818) ، ودونروشي (1837) ، وغارو (1850) ، وأيضاً الفيزيائي والطبيب الألماني روبرت ماير الذي أعلن (1845) أن النباتات الخضراء تُحوِّلُ تركيباتها بتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية . في سنة 1860 أشار ادمون فرمي الى مبدئين يمكن التمييز بينهما فيما يخص الكلوروفيل : الأول أزرق والثاني أصفر . ولكن البحث لم يتجدد نشاطه إلا بعد عدة سنوات . (إن كلمة تصوير تركيبى (Photo synthèse) هي من ابتكار ش . ر . بارس Barnes (1898) .

جوليس فون ساش Julius Von Sachs . - اكتشف هوغو فون موهل وجود حبات الأמידون (النشاء) في الكلوروفيل (1845 ، 1855) . وقام ناجيلي بتنفيذ دراسة تشكيلة رائعة (مورفولوجية) (1848) . بين هـ . فون موهل ان الكلوروفيل وجد قبل الأמידون بزمّن طويل . ولاحظ غري (1857) ان الأמידون الموجود في الكلوروفيل يزول في الظلام بعد عدة أيام . ونجح ساش في إدراك معنى هذه الوقائع ، كما نجح في التثبت من العلاقة الوظيفية . وبفضل بعض التجارب البسيطة جداً (1862 - 1864) بيّن الفيزيولوجي الكبير أن الأמידون هو من منتجات النشاط الكلوروفيلي في الضوء . وهكذا تقرر ، لأول مرة وجود علاقة مباشرة بين الضوء وتكون أحد أهم العناصر في التمثل . واستطاع ساش أن

يثبت : 1) ان بعض النباتات المحرومة من الأميدون تستعويض عنه بمادة عاثلة ، سكر ، تركبه هي . 2) ان الأميدون ليس هو المنتج المباشر للنشاط التخليقي الضوئي . وإلى ساش يعود الفضل في وضع المعادلة التي ظلت كلاسيكية لمدة طويلة حول التخلق الضوئي :



بحوث متنوعة .. في نفس الحقبة تقريباً (1864) تدخل بوسنغولت أيضاً في دراسة التركيب الضوئي أو التخلق الضوئي ، وبشكل إيجابي جداً . فبين أن حجم الغاز كربونيك الذي تمتصه النبتة يساوي بشكل محسوس الأوكسجين المتصاعد (تختلف النتيجة قليلاً وهي مغلوطة بفعل الظهور الآني للمظاهرة التنفسية) . وهو أمر عرفه سوسور وأكد عليه ماكين وديمجوسي (1912) . وقرر أن تمثل الكربون يقتضي تشارك « الروتوبلاست البلاستية » مع الملون . وفي سنة 1881 تخيل انغللمان طريقة فيزيولوجية سميت طريقة « البكتيريا » . وكانت هذه المادة عاملاً حساساً جداً مع وجود الأوكسجين فاستخدم إلى حد بعيد في دراسة التشكل الضوئي . وأوصلت انغللمان إلى وضع نظريته الشهيرة حول تكيف الطحالب الحمراء مع الأعماق البعيدة . ومنذ بداية القرن العشرين كانت الأفكار واضحة نوعاً ما حول العوامل الداخلية والخارجية وهي عوامل محددة عند بلاكمان (1905) ، تتدخل في النشاط التخليقي الضوئي .

إن أعمال بلاكمان حول دور تركيز الغاز كربونيك الفضائي ، وأعمال تيميرياسيف (1877) وأعمال انغللمان حول النشاط الكبير للأشعاعات الحمراء والبرتقالية ، ما تزال صالحة حتى اليوم . وكذلك العوامل : درجة الحرارة وزخم الضوء قد درست أيضاً بشكل معمق. وفيما بعد كانت الدراسة المتقدمة لأثر هذين العاملين على التخليق الضوئي ، هي التي حلت على التصريق بين مرحلتين : المفعول الاناري المتبوع بمفعول مظلم (متأثر بدرجة الحرارة) . وفي الماضي ، ومنذ 1870 ، طرح باير فرضية أولية تتضمن زمنين : وهي مراحل قال بها أيضاً بوسنغولت (1860) .

وفي مجال آخر من الأفكار وضع أ. شونك ول. ماركلوسكي (1894) تقارباً كيميائياً بين الهوموغلوبين في الدم وبين الكلوروفيل ، باعتبارهما من مشتقات البيروكس . وحوالي نفس الحقبة (1894) - (1896) ، عزل هـ. موليش « الفيكو أريترين الموجود في الفلوريدي ، والفيكوسيان الموجود في السيانوفيسي » . والدراسة الكيميائية للملون (Pigment) ، سوف تتقدم تقدماً سريعاً ابتداءً من سنة 1906 وهو التاريخ الذي توصل فيه م. سويت ، بفضل تقنيات ممتازة ، إلى التعمق جداً في تحليل الكلوروفيل .

VIII - حركات النباتات . النمو

منذ القرن السابع عشر لم تتوقف بعض حركات النباتات (مثل التأثر باللمس وبالنفس ، والتوجه أو الانتحاء ، وتمايل رأس النبتة) عن تحدي علماء النبات . ولكن في سنة 1806 ، ومع العالم

الانكليزي الكبير ت. آ. نايت قامت الأعمال الكبرى التجريبية حول حركة النمو . وأثبت نايت ، بواسطة وسائل ابتكرها ، تأثير الجاذبية الأرضية على النمو العامودي للجذوع . ويُسَن أيضاً ، في سنة 1811 ، ان توجه الجذور مرتبط برطوبة التربة ، وهو أمر تثبت منه جونسون سنة 1828 . ولكن المفاهيم السائدة هنا كما في مجالات أخرى كغيره ، تتعلق عموماً « بفلسفة الطبيعة » . وعارض دوتروشي (1822) وموهل (1827) بتصميم هذه الأخيرة ، وقدموا وقائع تشرحية وبراهين ميكانيكية .

وتغير النصف الثاني من القرن بتكاثر البحوث بوتيرة سريعة جداً . وكانت الأعمال الأكثر بروزاً موقعة من قبل علماء مألوف في الأسماء أمثال : ساش (1868) وبوسنغولت ، وداروين (1882) ، وفيفر (1904) . . . وأدت سلسلة من الأعمال أطلقها داروين ، وعابدها فتن Fitting (1907) ، الى قيام بويسن - جنسن (1910-1911) أخيراً باكتشاف الهرمونات النباتية التي شكلت فصلاً جديداً في البيولوجيا المعاصرة .

الفصل السادس

الفيزيولوجيا الحيوانية علم وظائف الأعضاء في الحيوان

إن علم التشريح الوصفي والمقارن ، يختلف مظاهره ، قدم معلومات واسعة حول طبيعة الأعضاء وبنيتها ، وأتاح التعرف ، بدقة نوعاً ما ، على دورها : ولكن المعرفة الدقيقة لوظائف هذه الأعضاء تشكل مجالاً علمياً مستقلاً هو علم الفيزيولوجيا أي وظائف الأعضاء ، الذي يركز بصورة أساسية على التجربة الحية . وبهذا تلتقي البيولوجيا مع الفيزياء ومع الكيمياء ، إنما على أرض معقدة للغاية . والأدوات المستعملة تتمتع بمسار عملي دقيق للغاية ، وهي تشترك فيما بينها . في أصل كل دراسة يتوجب بعناية تحديد الموضوع المدروس ثم دراسته ضمن شروط محددة بدقة .

ولإذا كانت هناك ، قبل القرن التاسع عشر ، بعض البحوث الفيزيولوجية التي من أبرزها هي بحوث هارفي حول الدورة الدموية ، وبحوث لافوازييه حول التنفس ، فإنه في هذا القرن الجديد فقط استطاعت الفيزيولوجيا أن تأخذ مداها وأن تحدد مناهجها . في هذا العمل التأسيسي ، هناك اسم يعلو على كل الأسماء : إنه اسم كلود برنار . وأحد كتبه « مدخل لدراسة الطب التجريبي » ، ما يزال بالنسبة إلى الكثير ، القانون المنهجي في الفيزيولوجيا الحديثة

II - الفيزيولوجيا في فرنسا

الأعمال الأولى والتصورات الأولى .. يمكن اعتبار لافوازييه كمؤسس لهذا العلم بفضل بحوثه حول التنفس ، ورده إياه إلى الاشتغال ، ويفضل بحوثه حول الحرارة الحيوانية . ولو أن حياته لم تقص بشكل مبكر من قبل الثورة الفرنسية ، لكان من غير شك قد أضاف إلى أعماله الأولى معطيات مهمة أخرى . ولكن من المهم جداً أن نضع ، وجهاً لوجه ، أفكار رجل آخر ذي قيمة لا جدال حولها ، تلك هي أفكار ل. بيشات (1771-1802) ، الذي مات في عز الشباب دون أن يعطي كل ما

عنده . فقد رفض المبدأ العام الوهمي حول القوة الحيوية التي توجه مجمل مظاهر الحياة ، إلا أنه لم يفعل سوى التحرير والإطلاق .

« كتب في سنة 1800 ، يقول في « البحوث الفيزيولوجية حول الحياة والموت » : ان الفيزياء والكيمياء تتلازمان لأن نفس القوانين تتحكم بظاهراتهما ، ولكن هناك مسافة تفصل بينهما وبين علم الأجسام العضوية ، إذ هناك فرق ضخم بين قوانينها ، وقوانين الحياة ، والقول ان الفيزيولوجيا هي فيزياء الحيوانات يعني إعطاء فكرة عنها غير صحيحة على الإطلاق . حتى اني أفضل عليه القول بأن علم الفلك هو فيزيولوجيا الكواكب » .

هذه الأسطر القليلة تتيح قياس الثورة التي يجب إكمالها حتى نتوصل الفيزيولوجيا الى مركزها العلمي الحالي .

في إطار المملكة النباتية بدى بدرس المبادلات الغازية في النباتات ، بينها وبين الفضاء ، كما تدل على ذلك أعمال لاهوازيه ، وكتاب « الفيزيولوجيا النباتية » الذي نشره الجنيفي سينبيه Senebier بين 1782 و 1788 . واهندى دوتروشي الذي اكتشف ظاهرة الامتصاص (أوسموز) الى وحدة الأوليات الفيزيولوجية في المملكة .

يقول « لا توجد الا فيزيولوجيا واحدة ، هي علم عام يبحث في مسلك الكائنات الحية . إن محاولات تطبيق الظواهر الفيزيائية على تفسير عمليات التفاعل الفيزيولوجي تسحو الى إزالة الغموض الذي أدخله الفيزيولوجيون « الغائبون » في العلم الفيزيولوجي » .

وأجرى أحد معاصري بيشات وهو ليفالوا (1770-1814) ، الذي كانت حياته أيضاً قصيرة ومعاقة بالطروف المادية الصعبة ، والذي كان يمارس الطب ، تجارب دقيقة على الجهاز العصبي على حيوانات التجارب (كوياب) وعلى الأرناب والقطط ، وأوضح ، فيما يتعلق بالخلل الشوكي ، موقع (العقدة الحيوية) الذي سبق وتبينه لوري في القرن الثامن عشر . ويبين أن دور هذه العقدة هو تنظيم الحركات التنفسية (تجارب حول مبدأ الحياة ، 1812) .

ماجندى Magendie .. أما الوجه الرئيسي في الفيزيولوجيا بخلال النصف الأول من القرن التاسع عشر فهو وجه فرانسوا ماجندى (1783-1855) ، الذي كان له الفضل الكبير في معارضة المفاهيم الحيوية بشدة ، ووضع الفيزيولوجيا على أرض التجريب ، نهائياً ، معارضاً أفكار بيشات ، كما له الفضل في البحث ، بصورة منهجية ، عن العوامل الفيزيائية والكيميائية تفسيراً للأحداث الفيزيولوجية ، مع الاهتمام الكبير بعدم تجاوز نتائج كل تجربة (راجع بعض الأفكار العامة حول الظواهر الخاصة بالأجسام الحية في « نشرة العلوم الطبية ، 1809) . وقد أراد ، فضلاً عن ذلك ، نشر مفاهيمه . ولهذا الغاية ، أعطى درساً (محاضرة) خاصاً في الفيزيولوجيا ، حيث كان يجري تجاربه أمام المشاهدين (المستمعين) . من هذه المحاضرات خرج كتاب « الموجز في الفيزيولوجيا » . الذي يختلف عن كتب العصر والذي عرف الشهرة في أوروبا . وعُيِّن ، في سنة 1821 ، في « أكاديمية العلوم » ، وخلف ، سنة 1830 ، لابينك Laennec على كرسي الطب في الكوليج دي فرانس . وأمام

ذخول معاصريه ، أقام فيها مختبراً ، وطبق فيه الطريقة التجريبية في الفيزيولوجيا . وقد حاول دائماً أن يركز على الوقائع الثابتة :

« يقول : كل إنسان يقارن نفسه ضمن محيطه ، برجل عظيم نوعاً ما ، بارخيدس ، أو مايكل أنجلو ، أو نيوتن أو غاليلي أو ديكارت . كان لويس الرابع عشر يقارن نفسه بالشمس . أما أنا فأكثر تواضعاً إنني أشبه نفسي بلمام الحرق . صنارتي في يدي وكيسي على ظهري ، أمشي في مجال العلم والمُلم ما أعثر عليه » .

هذه الطريقة الدقيقة المبالغة في الدقة تتوضح ببحوثه حول وظائف الأعصاب الفقارية . في سنة 1811 تصور المشرح الانكليزي شارل بل (1774- 1842) ، دون أن يتوفر له الدليل الواضح ، أن الوجه البطني من الحبل الشوكي هو الطريق الذي به تتم الوظائف العليا للدفاع ، فيؤمن الحركية والشعور الاحساسي ، وأن الوجه الظهري يقوم بوظائف أكثر تواضعاً مصدرها المخ : الغذاء والحيوية . ولإثبات ذلك قام ، على حيوان حي ، بقطع الجذر الوراثي للأعصاب الفقارية ، دون أن يلحظ ردة فعل حركية في حين تسببت بقلصات عضلية حين قرص الجذر الأمامي .

وقام ماجندي ، دون أن يعرف النتائج التي توصل إليها بل ، في سنة 1822 بدراسة خصائص جذور الأعصاب الفقارية ففقط ، ليس فقط الجذر الوراثي ، بل وعلى حدة أو بأن واحد الجذر الأمامي ، ثم أخذ يحفز بشكل منهجي ، الطرف المركزي ، والطرف الطرفي . كما استعمل أيضاً السموم مثل الجور المقيء ولم تحدث الاختلاجات محمداً عندما قطعت الجذور الأمامية . وهكذا أثبتت التجربة أن الجذور الأمامية تتكون من خيوط محركة ، وأن الجذور الخلفية هي خيوط احساس . ولم يستطع بل ، الذي قال عنه كلود برنار أنه « تأملي أكثر مما هو تجريبي » . أن يرى إلا قسماً من الحقيقة . ولكن ، في الشهور اللاحقة ، تأكد ماجندي أن الجذور الأمامية هي أيضاً حساسة . وأشار ، بدون تأخر ، إلى هذه المخالفة واستمر يحرب طيلة عدة سنوات . وأخيراً اكتشف أن الخيوط الحساسة ، الأتية من الجذر الخلفي تدخل في الجذر الأمامي فتعطيها حساسية تسمى متكررة أو راجعة ، وأهمية هذه التفصيلات هي أنها تشير إلى الدقة التجريبية في طريقة ماجندي .

فلورانس Flourens . - وهناك فيزيولوجي فرنسي آخر ، أصغر بقليل من ماجندي ، هو ب. فلورانس (1794- 1867) ، وكان له أيضاً مكانة ملحوظة في البيولوجيا الفرنسية ، عمل استاذاً في المزيوم وفي الكوليج دي فرانس . وقد تأثر بعمق بكوفيه . وتبين ، من جهة أخرى أنه مجرب بارع ونفاذ الفراسة . لقد أوضح ، بعد ليغالوا ، مكان المركز التنفسي . لقد اقتلع من حمام كامل نصف الكرة الدماغية ، وبين أن هذه الطيور ظلت تعيش وتقوم بالوظائف الأساسية ولكنها فقدت كل مبادهة : فلم يبق لها إلا الانعكاسات . واليه أيضاً يعود الفضل بالتجارب الجميلة حول الأتية نصف الدائرية ، والشعور بالفضاء واسترجع تجارب دوهاميل ، في القرن الثامن عشر ، حول تولين العظام بواسطة « القوة » (غارانس garance) ، وأثبت بالتحقيق دور القشرة التي تحيط بالعظام في نموها (السمحاق) وبعد اكتشاف التخدير من قبل هـ. ولز ، في الولايات المتحدة ، اكتشف مفصول الكلوروفورم . وبقي اسمه مرتبطاً بجملة معطيات مهمة ودقيقة .

كلود برنار Claude Bernard .. ولد في قضاء ساكوي، في قرية سان جوليان، من عائلة متواضعة. ودرس كلود برنار (1813- 1878) الصيدلة في ليون واجتذبه الأدب المأسوي. وجاء الى باريس، بعد أن كتب تراجيديا حُكِّم فيها برأي سان مارك جيراردان. ولحسن الحظ، رده هذا عن المسرح. فأنجحه عندئذٍ الى دراسة الطب. وفي سنة 1839، دخل في الخدمة في مستشفى ماجندي. ولاحظ هذا الأخير قيمته، فالحقه بالمختبر. ولقي برنار، فيه، قوة هذا المعلم حتى أوشك أن يتركه ولكن أصبح في سنة 1853 خلفاً له في الكوليج دي فرانس.

واستكشف كل الفيزيولوجيا وجدها: فيزيولوجيا العناصر المضمية في البداية، ثم للعاب (1847)، والعصارة المعدوية (1843)، وعصارة البكرياس الخ. وأثبت دور البكرياس في هضم الشحوم (1848- 1856). وحلل هضم السكر مما قاده الى اكتشاف مهم هو الوظيفة الغليكوجية للكبد (1848) وتوصل الى عزل الغليكوجين (1855) واهتدى الى ثبات مقدار الغلوكوز في الدم، وإلى أن اختلال هذا التوازن يشكل مرض السكر (ديابت) (دروس حول السكري والغليكوجين الحيواني، 1877)؛ ودحض الاعتراضات التي وجهت الى استنتاجاته بتجارب مقنعة. إن الوظيفة الغليكوجية في الكبد هي أول مثل عن الافرزات الداخلية التي جددت، بعد ذلك، الفيزيولوجيا العامة وعدم التطبيق (الباتولوجيا). وظهر الغلوكوز كحسم قابل للحرق بدور في الدم، ويمترق في الأنسجة وهو أساس الحرارة الحيوانية التي قام لافوازييه ولابلاس بدراساتها. ولكن مركز هذا الاحتراق لم يكن الرئتين كما ظننا، إنها الأنسجة المختلفة. ينقل الدم الغلوكوز والأوكسجين، وينظم الحرارة الحيوانية. ومن جهة أخرى اكتشف كلود برنار دور الجهاز العصبي الحبي الكبير في هذا الضغط، عن طريق ما يحدته من اتساع في الأوعية الدموية. كل هذا قد أثبت بتجارب مقنعة ودقيقة، وتحقق بسوات قليلة، وأنجحه نحو مفهوم مركزي هو «ثبات الوسط الداخلي»، وإن الاضطرابات المرضية تنتج عن اختلال هذا التوازن. إن الجسم يتفاعل مع الاختلال الحاصل في الوسط الخارجي، بواسطة أواليات تعويضية. إن الفيزيولوجيا بأكملها قد تمهدت على يد كلود برنار.

وخارج الكوليج دي فرانس، تبوأ كلود برنار، على التوالي، كرسيّاً في السوربون ثم في الميزيوم. وانتشرت انجازاته العلمية بفضل نشر محاضراته في سلسلة من الكتب لاقت انتشاراً واسعاً جداً. في الميزيوم، كان هدفه تطوير الفيزيولوجيا العامة المرتكزة على المعطيات الحديثة المتعلقة بالخلية.

وهذا العمل العظيم تحقق في ظروف مادية ضعيفة جداً. كتب كلود برنار يقول: «عرفت الم العالم الذي يعجز، بسبب قلة الوسائل المادية، عن القيام بتحقيق تجاربه التي يتصورها، فيضطر الى الاقلاع عن بعض البحوث أو الى ترك اكتشافه في حالة الابتداء.

إن هذه الظروف المادية المؤسمة خربت صحته فأصيب في سنة 1865 بمرض خطير أوشك أن يقضي عليه. وفي سنة 1878 عاوده المرض فقضى عليه. وأجبرته النقاهة في سنة 1865 على الانفصال عن مختبره، فخصص أوقات فراغه المقرؤصة عليه، من أجل صياغة قواعد هذه الطريقة التجريبية التي بدأها تحت رعاية ماجندي، ثم طبقها بنفسه، وأكملها بشكل خصب للغاية، في عرض

منهجي . من هنا خرج الكتاب المدهش وهو : « مدخل لدراسة الطب التجريبي » (1865) . وفيه يعرض ما يجب أن تكون عليه عقلية المحرر ، متحررة من كل عقلية مأخوذة بمذهب أو نظام ، وخاصة دائماً للمراقبة من قبل الشك المنهجي دون الالتفات ، رغم ذلك ، للشكوكية . إن ظاهرات الحياة ، رغم بدايتها الظاهرة تبدو بالتالي مرتبطة بقوانين دقيقة وثابتة ، وقابلة للتنبؤ ، حالما كحال المادة الجامدة . وهكذا تستبعد القوة الحيوية والسبب الفائي . وحدها تتدخل الظروف الفيزيائية الكيميائية التي فيها تتم ظاهرات الحياة . والتجريب ، بخلاف ما اعتقد « بيشات » ، يطبق بدقة على الفيزيولوجيا كما على الفيزياء أو على الكيمياء . والشيء الذي يميز الجسم الحي ، هو التوازن بين نشاطات الأجزاء ، ذات المظهر المحكوم بغائية داخلية ، دون أن يفترض ذلك تدخل قوة خاصة فيها . وينتج الاعتراف بالحنمية الدقيقة الوصول إلى التيقن ، وإلى التنبؤ بتسلسل الظاهرات الحيوية .

ويجب التذكير أيضاً بكتاب فخم هو « تقرير حول التقدم في الفيزيولوجيا في فرنسا » وقد كتب من أجل المعرض الدولي لسنة 1867 ، والذي ينتهي بلفت انتباه السلطات العامة إلى ضرورة تأمين أفضل الظروف المادية لخدمة البحث العلمي . وكان الفيزيولوجيون ، وكذلك العلماء في مجالات أخرى ، ينتظرون دائماً تأسيس المختبرات التي كانت ألمانيا قد نظمتها ، وأوقفت حرب 1870 الجهود التي كانت سوف تنكامل . وتلقى كلود برنار من الهيئات الأكاديمية كل التشريف الذي كان يأمله . وقال عنه ح . ب . دوماس أنه كان الفيزيولوجيا بالذات ، ولخص تلميذه آ . داستر ، سنة 1913 تقريره بما يلي :

« لقد طرد [من الفيزيولوجيا] الأشباح التي كانت تغطيها . كانت الفيزيولوجيا خادمة للمطب . فجعل منها علماً قائماً بذاته ، له مناهجه وغاياته . لقد أنجز ثورة لا تشك الأجيال الجديدة بها لأن النتائج فيها كاملة إلى درجة أنها أصبحت ، بنوع من الأسواع ، جزءاً من عقليتنا ، وأنه ، بحسب كلمة مونتينييه Montaigne ، نَزَعُ الاعتياد منها غرابتها » .

مدونة كلود برنار . - من بين تلامذة كلود برنار ، كان خليفته في السوربون ، بول برت (1833- 1886) أشهر تلاميذه . وكان قد ترك أثره بشكل خاص في فيزيولوجيا التنفس ، حين درس تأثير الضغوطات المرتفعة والمنخفضة للغازات الفضا (الضغط الجوي . بحوث تجريبية ، 1878) ، على الحياة في المرتفعات الكبرى ، وفي الصناديق ذات الهواء المضغوط وفي أثواب العطاسين ، ومقدار التسمم في الأوكسجين فوق ضغط معين ، ومفاعيل ارتفاع الضغط الفجائي أي زواله ، وما ينتج عن ذلك من انسدادات ، وتأثير المينجات ، الخ .

وقام أيضاً ببحوث جميلة حول الأثر (التطعيم) الحيواني . ولخسارة العلم اجتذبت السياسة ب . برت باكراً . فانصرف إليها بعيداً عن البحث العلمي . ويجب هنا أيضاً ذكر اسم أرسين أرسونفال Arsonval (1851- 1940) في مجال تطبيقات الكهرباء على مسائل الفيزيولوجيا .

وكان خليفة كلود برنار في الكوليج دي فرانس أ . براون سيكارد (1817- 1894) وهو ميلاطي ولد في جزيرة موريس ، قد مارس نشاطه تبعاً في فرنسا وفي الولايات المتحدة ودرس بشكل خاص الفيزيولوجيا العادية والبياتولوجية في الجهاز العصبي . وفي أواخر حياته جرب علم نفسه مفاعيل زرق

خلاصة الأعضاء ، وخاصة الغدد المتوية ، وظن أنه عثر على وسيلة لاعادة الشباب . وهذه التجارب المغامرة نوعاً ما ، لم تثبت فيما بعد . ولكنها ساهمت في القرن العشرين ، في تعزيز الدراسة التجريبية للانفراغات الداخلية ، بما سمي علم الغدد الصماء ، والذي أصبح أحد الفصول الأكثر أهمية في الفيزيولوجيا المعاصرة .

ماري Marey وشوفو Chauveau . - خارج نطاق مدرسة كلود برنار ، هناك مجال للتذكير بعمل ماري (1830-1904) ، الذي خلف فلورانس في الكوليج دي فرانس . وعكف بشكل خاص ، وبإلهام ملحوظ على تحسين وإكمال الطريقة الغرافية لتسجيل النشاط الفيزيولوجي ، وهي تقنية ابتدعها الفيزيولوجي الألماني ك. لودويغ . وأعطى ماري للأجهزة المسجلة حساسية ودقة عاليتين . وقد أتاحت هذه التقنيات بشكل خاص التقدم الكبير في دراسة عمل القلب والرئتين . ووجدت الطريقة الغرافية تطبيقات واسعة ، وهي اليوم إحدى التقنيات الأساسية في مختبرات الفيزيولوجيا . وكان ماري أيضاً الطليعي في مجال السينما التسجيلية . وهذا الاختراع الذي تحقق سنة 1895 على يد الأخوة لويس وأوغوست لوميير Lumière ، في لوين ، قد قدم خدمات كبيرة في المختبرات . ومن أولى انجازاته البيولوجية إعادة تكوين ، ثم تصوير كل التطور الحاصل لمستعمرة من الأسديات (حيوانات بحرية تشبه القرب وتعيش ملتصقة بالصخور) المركبة (بوتريليدا) ، وعرضها من قبل أ. بيزون Pizon في المؤتمر الدولي للزولوجيا في برن (1904) . وقد أكمل عمل ماري Marey ، في الكوليج دي فرانس من قبل تلميذه وخليفته فرانسوا - فرانك (1849-1921) .

وكان لماري مساعد في دراسة حركات القلب هو أ. شوفو (1827-1917) وكان طبيباً بيطرياً في ليون احتل في الميزيوم كرسي الباثولوجيا المقارنة . وفي الفيزيولوجيا تناولت جهوده بشكل خاص الحيوية في عمل الجسم الحي وخاصة دراسة الطاقة التي يستهلكها النسيج العضلي ، ودراسة مصدر هذه الطاقة من الغذاء . وقد سبقت هذه الدراسات في فرنسا ، بدراسات قام بها كل من ج. بكيلار (1861) ، ومرسيلين برتيلوت (1865) .

وتلقت الفيزيولوجيا الفرنسية أيضاً مساهمات مهمة من جانب الأطباء أمثال فوليبيان (1826-1887) وفيما يخص الجهاز العصبي هناك مساهمات دوشين دي بولوني ، وبروكا ، وشركوت ، الخ .

II - الفيزيولوجيا في ألمانيا

كان عمر ماجندي ثمانية عشرة عاماً في الوقت الذي ولد فيه جوهانس مولر (1801-1858) . هذا الفارق في الأعمار ، وكذلك ، أسبقية اتحاد الكيمياء والفيزيولوجيا في فرنسا ، يفسران الأفضلية الترتيبية التاريخية (الكرونولوجية) المعطاة لفرنسا في جدول يحتوي الفيزيولوجيا في القرن التاسع عشر . ولكن مساهمة الباحثين الألمان في نهضة الفيزيولوجيا العلمية ، في العالم أجمع ، كانت ضخمة ، ومتنوعة في توجهاتها ، وحاسمة في مثلها ، وفي تأثيراتها . وإحصاء الأعمال والبحوث يتعظم بدهاءة

حول اسمين وحول مدرستين ، اسم جـ . مولر ، وكارل لودويغ ، وحوهما يتموضع جنود مجهولون ، أو على الأقل أفراد منفردون .

جوهنس مولر وتلامذته . - استمد مولر من دراساته في بون ، رؤية فلسفية للحياة فلم ينصرف عنها إطلاقاً ، حتى عندما فصله مروره في برلين ، سنة 1824 ، عن الطروحات الأساسية السائدة في مدرسة فلاسفة الطبيعة . وأصالة مولر الذاتية تكمن في العلاقة بين الفيزيولوجيا وعلم التشريح المقارن (أناتوميا) . وقد أدخل كمشرح ، في سنة 1826 ، الفيزيولوجيا في السيكلوجيا (« حول الفيزيولوجيا المقارنة ، لحاسة البصر عند الانسان والحيوانات ») واضعاً ، هذه المناسبة قانون الطاقة الذاتية للأعصاب . وفي سنة 1830 جرت الأعمال حول بنية الغدد ، وتطور الأعضاء التناسلية وفقاً لنفس الطريقة المقارنة . وبذات الوقت أجرى مولر تجارب من أجل التأكيد على قانون بل - ماجندي Bell-Magendie ، وقادته دراساته حول الفيزيولوجيا العصبية بذات الوقت الى اكتشاف قام به أيضاً مارشال هال Hall حول العمل الانعكاسي في الحبل الشوكي . وتميزت سنة 1833 بأمرين تعين مولر في برلين ، ونشر القسم الأول من كتاب « المختصر في فيزيولوجيا . . » وهو مجموعة شاملة للفيزيولوجيا في أواخر الثلث الأول من القرن ، وأعيد طبع الكتاب عدة مرات بعد إدخال تعديلات عليه . وكان تأثيره لا مثيل له في القرن التاسع عشر . وقال عنه بوا - ريمون أنه كان له بالنسبة الى الفيزيولوجيين في ذلك العصر ، نفس أهمية كتاب هالر « عناصر الفيزيولوجيا » في النصف الثاني من القرن الثامن عشر .

وكان « مختصر » مولر انعكاساً لتعليمه . فقد كان له اهام الحفز الفكري . ومارس تأثيره على نوعين من التلاميذ : من جهة مؤسسو ومبسطو النظرية الخلوية أمثال شوان وفيرشو وهايكل ؛ ومن جهة أخرى الفيزيولوجيون بالذات أمثال بوا - ريمون Bois - Reymond وهلمولتز Helmholtz وبروك .

ولا يعود الى مولر تاريخ الحركة الكبرى حول تكاثر وغو وتجهيز مختبرات الفيزيولوجيا في ألمانيا ، لأنه كان في عمقه أقرب لأن يكون بيولوجياً لا كيميائياً ولا فيزيائياً . ومختبره في برلين لم يكن غنياً في المعدات . ولكن تلاميذه : بوا - ريمون وهلمولتز وفيرورد Vierordt ربطوا أسماهم باختراع آلة وبايتكار تقنية استكشاف في مجال الفيزيولوجيا (عربة - محث ؛ المعيان : آلة لفحص داخل العين ؛ راسم النبض (سفيغموغراف)) .

إن الاتحاد الايديولوجي والمنهجي ، الذي عقده مع لودويغ ، في سنة 1846 ، في برلين تلامذة مولر الثلاثة وهم بواريمون وهلمولتز وبروك ، مشتركين في تأسيس « جمعية الفيزياء » (1845) هو الحدث الرئيسي في تاريخ الفيزيولوجيا الألمانية .

كان اميل « بوا - ريمون » (1818 - 1896) مخترع أدوات وتقنيات في الكهرباء الفيزيولوجية التطبيقية ، طبقت في دراسة وظائف العضلات والأعصاب . وإذا كان ماتوكسي قد أقر بوجود تلاقٍ بين انتاع الكهرباء والتقلص العضلي (1841) ، فإن بوا - ريمون قد أبرز ووضح ، تحت اسم التفسير السليبي ، وجود قوة كامنة من العمل المولد لتليار العمل . واستخدام الالكترود (المنفذ الكهربائي) غير الاستقطابي يبقى أحد الانجازات العلمية التي حققها بوا - ريمون ، وتصوره للطبيعة الفيزيائية الكيميائية

الخالصة للظواهر الفيزيولوجية قد أوحى له برؤية فلسفية للعالم ، بعيدة نوعاً ما عن نظرة معلمه مولر ، وليست بالغريبة عن مماثلة نظرة ماجندي ، ولكنها مصاغة بأسلوب تفخيمي شه بابوي .

وعلى أساس مفهوم طاقوي للحياة بُني عمل هلمهولتز (1821- 1894) . في سنة 1847 نشر مذكرة بعنوان : « أوبر داي ارهالتونغ در كرافت » تعميم كمبدأ عدم امكانية تدمير الطاقة عند تحولاتها المتعددة . فأعاد بالتالي الى الأذهان « مذكرة » صدرت سنة 1842 للطبيب ج . ر . ماير (1814- 1878) الذي صاغ قبل جول (1843) التعادل بين الطاقات الميكانيكية والحرارية . وشبه هلمهولتز عمل العضل بمصدر للحرارة الحيوانية (1848) . وفي سنة 1850 كان أول من قاس سرعة نقل الرسالة العصبية في طول خيط العضل . وأعماله حول الابصار (مختصر في فيزيولوجيا الابصار 1856- 1866) وحول السمع (1862) كان لها تأثيرها في تمتد أسس فيزيولوجيا الوظائف الحسية . ومن هذه الزاوية يكون عمله واقعاً في الوسط بين عمل فكنسر (1801- 1887) الذي يتفصل قانونه السيوفيزيائي (1858) بصعوبة عن الأطار الميتافيزيكي ، وبين عمل ويدت ، الذي كان مساعداً لهلمهولتز وهيدلبرغ . كان هلمهولتز أعظم فيزيولوجي رياضي في القرن التاسع عشر وقد أنهى حياته في كرسي للفيزياء في برلين .

وكان بروك (1819- 1892) استاذاً في فيينا . وقد اهتم ، مثل هلمهولتز بالفيزيولوجيا الحسية وربط دراسات في التجميل ببحوثه حول الابصار . وكان لودويغ طيلة عدة سنوات زميلاً له في فيينا . وكان سيغموند فرويد أحد أوائل تلاميذه .

لودويغ ومدرسته Ludwig . - كان كارل لودويغ (1816- 1895) قد تلقى في ماربورغ أول ثقافته الطبية . واتصل فيها بكييميائيين وفيزيائيين وخاصة روبرت بونسن .

وقد علم على التوالي في زوريخ (1849) وفي فيينا (1855) وفي ليزيغ (1865) . وفي هذه المدينة الأخيرة (في جامعها) أسس معهد الفيزيولوجيا (1869) الذي سوف يستخدم كنموذج لمعاهد أخرى كثيرة أسست على نمطه ، في ألمانيا ، وفي أوروبا وخارج أوروبا . وفي هذه المعاهد تم تعليم وتنقيف كل الباحثين تقريباً ، الذين تدين لهم الفيزيولوجيا في نهضتها الدولية في الثلث الأخير من القرن التاسع عشر . لم يكن لودويغ معلماً فقط بالنسبة الى الفيزيولوجيين بل كان مهندساً للفيزيولوجيا : اختراعه للكيموغراف (1846) وتعميم تقنيات التسجيل الغرافي ، وبناء المضخة الرزقية (1859) ، وأمثالها من الاختراعات التي مكنت الفيزيولوجيا ، من الاستغفار في قسم كبير منها حتى أيامنا . ان العمل العلمي الذي قام به لودويغ قام بصورة أساسية على الاستكشاف الفيزيائي الكيميائي لوظائف الافراز والامتصاص والدوران . لقد درس نفاذية الكلتيين (1843) ، والتنافذ الداخلي (1849) وغازات الدم أثناء العمل العصلي (1861) ، وضغط الدم داخل الشعيرات (1875) .

واحصاء كل الأسماء الأجنبية ، عدا التلاميذ الألمان ، الذين مروا ، بخلاف فترة طويلة نوعاً ما ، بمعهد لودويغ ، يتطلب وضع لائحة بالفيزيولوجيا بعد سنة 1870 . ونحفظ بعض الأسماء فقط : ستشنوف ، وبافلوف في روسيا ، هورسلي وسترنلغ في إنكلترا ، وبودينش في الولايات المتحدة الاميركية ، ولوشيان وموسو في إيطاليا ، وكريستيان بوهر في الدانمارك ، وكريستيان لوفن في السويد ، وبول هجر Heger مؤسس معهد سولفي Solvay الفيزيولوجي في بلجيكا .

ويمكن القول أن لودويغ جلب إلى ألمانيا عدداً من الفيزيولوجيين مثل ما جلب فيرشو - وهو أعظم وجه في الطب الألماني بعد موت معلمه مولر - من الطلاب إلى الباتولوجيا .

فلوجر Pflüger وغولتز Goltz . - إنها عالمان تميزا ، لأسباب مختلفة ، عن بقية الفيزيولوجيين من جيلهما ، وقد نشأوا في معظمهم في مدرسة لودويغ .

لم يحفظ فلوجر (1829 - 1910) عن معلمه بوا - رموز التصور الميكانيكي الخالص لظواهرات الحياة . إن نوعاً من الحس بالأصالة وبالغائية العضويتين كان يقر به من ج . مولر . وهذا لم يمنعه من استخدام التقنيات الفيزيائية الكيميائية في الاستقصاء لدراسة وظائف التنفس والغذاء . ونحن ندين له بمفهوم الحاصل التنفي (1877) . وحتى نهاية الأعمال التي قام بها شرنفون بقيت قوانينه حول نشأت الانعكاسات ، والتي صاغها سنة 1853 ، كلاسيكية . وأسس فلوجر سنة 1869 مجلة علمية مهمة باسم « أرشيف فور داي جيسامت فيزيولوجيا دي مانشن أند در تيار » .

وكان غولتز (1834 - 1902) أول من احتل كرسي الفيزيولوجيا في جامعة ستراسبورغ الألمانية بعد سنة 1870 . ويفسر تكوينه الأساسي كجراح تفضيله للفيزيولوجيا التشريحية والنشرية على الحي من أجل التجريب ، وهو بهذا يقترب من كلود برنار . وقد درس بشكل خاص وظائف الجهاز العصبي المركزي بعد إجراء استئصال نصف الدماغ ، ونزع الأغشية عنه ، وذلك على كلب (Der Hund ohne Grosshirn ، 1892) .

وبعكس ما هو حال هيتزيك Hitzig ، وفريه Ferner ومونك Munk ، رفض تقبل موضوعة وظائف التحرك والاحساس ضمن مساحات محصورة بدقة من الغشاء الدماغى وبمعاونة تلميذه وخليفته إيولد Ewald (1855 - 1921) انجز (1896) تقنية المقاطع الطبقية في الحبل الشوكي . وعمل شرنفون Sherrington بعض الوقت عند غولتز Goltz في سنة 1884 - 1885 .

III - المدارس الفتية في الحقبة الثانية

في بلدين أوروبيين ، خارج فرنسا وألمانيا ، كان هناك ، في مطلع القرن التاسع عشر ، فيزيولوجيون موهوبون كانت مساهمتهم في معرفة وظائف الجسم الحيواني لا يستهان بها . ونقصد الانكليز والطلين . ولكن هؤلاء وأولئك كانوا يتصرفون ، فيما خص مناهجهم ومواضيعهم البهوية ، كوارثين لثراث معين ، لا ككتشافين لطرق جديدة . وهذا هو السبب الذي يجعل من غير الضروري فصلهم عن مجمل الفيزيولوجيين من جنسيات أخرى الذين ذهبوا يتدربون لدى ماجندي وكلود برنار في باريس ، ولدى مولر Müller وتلاميذه في برلين ، ولدى لودويغ Ludwig في فيينا وخاصة في ليزنغ ، على أساليب الاستكشاف الجديدة ، وعلى نسق جديد من العمل ، قبل أن يؤسسوا في بلادهم المختلفة ، مدارس جديدة ، من حيث الانتاجية ومن حيث الأصالة في الأعمال ، كانت تقدم بدورها المعلمين للأجيال الجديدة من الفيزيولوجيين .

الفيزيولوجيا في إيطاليا - كان من المثير للمعجب أن لا يؤمن وطن سبالانزاني Spallanzani

وغالفاني Galvani لها خلفاً علمياً . إن بحوث غالفاني حول الكهرباء الحيوانية (1780- 1794) التي عارضها فولتا Volta ، وأيدها A. Von Humboldt ، قد استعبدت ووسعت من قبل الفيزيائي نوبيلي Nobili (1784- 1835) الذي بنى في سنة 1825 غالفانومتراً غير « ستاتيكي » ، فكان أول آلة استكشافية حساسة تجاه المفاعيل الكهربائية المصاحبة للتقلص العضلي . وأثبت ماتوكسي Matteucci (1811- 1868) ، سنة 1838 ، فرق الزخم بين عضلة ضفدع والعصب المطابق لها المصاب . وكتابه « محاولة حول الظواهرات الكهربائية لدى الحيوانات » (1840) الذي سلمه ج. مولر J. Müller الى بوا - ريمون من أجل الفحص الانتقادي ، حمل هذا الأخير ويشكل حاسماً الى السير في طريق الكهرباء الفيزيولوجية .

ولم تبق المدرسة الايطالية بمعزل عن التجديد في الفيزيولوجيا الحاصل في فرنسا وفي ألمانيا . وكان فلأ Vella (1825- 1886) تلميذاً لكلود برنار ، فمدد بحوث هذا الأخير حول المضم . وعمل لوشاني (1840- 1919) وموسو Mosso (1846- 1910) في ليزينغ تحت إدارة لودويغ . واشتهر لوشاني بحوث حول الجوع ، وحول وظائف المخ (1891) . وكان موسو Mosso هو مخترع الارغوغراف (آلة لقياس قدرة العضلة على العمل) (1890) الذي استطاع بواسطته أن يحدد قوانين التعب . واهتم أيضاً ، مثل بول برت Paul Bert ، بظواهرات التنفس في العيش في المرتفعات العالية جداً .

الفيزيولوجيا في بريطانيا .. إذا كان الايطاليون قد وجهوا ، في الثلث الأول من القرن التاسع عشر ، عبقريتهم نحو استكشاف وظائف العصب والعضلة ، بواسطة الظواهرات الكهربائية التي تظهر عليهما ، فإن الفضل يعود الى الفيزيولوجيين الانكليز ، من نفس الحقبة ، في اكتشاف أساسات سبل التوصيل الواردة والصادرة والوظيفة الانعكاسية والتي يقوم بها الحبل الشوكي . ونحن مدنيون لشارل بل انه ميز الفرق الوظيفي بين الجذور البطنية والظهرية في العصب الفقاري (1811) ، ومدنيون الى مارشال هال (1790- 1857) انه أثبت بصورة إيجابية وجود الانعكاس (وظيفة الانعكاس في المديلا أوبولونفاتا والمديلا سيباليس ، 1833) الذي كان قد وضع مفهومه ، في القرن الثامن عشر ، كل من استروك وويت وبروشكا . كان و. شاربي (1802- 1880) ، وم. فوستر (1836- 1907) مع فرييه (1843- 1928) المشهور بأعماله حول الأماكن الوظيفية في القشرة الدماغية (المساحة المحركة ، 1876) ، أهم فيزيولوجيين في حقبة وسيطة ، ذهب بخلها باحثون شبان يتعلمون في قارة أوروبا التقنيات الجديدة في الفيزيولوجيا .

كان ستيرلنج (1851- 1932) ، الذي اكتشف اثاره العضلات بواسطة التهيج الكهربائي ، كما كان هورسلي (1857- 1916) ، الذي درس بصورة تجريبية ، وبشكل مشابه لدراسة مورتر شيف ، حول وظائف الغدة الدرقية ، تلميذين للودويغ .

ودراسة وظائف الجهاز العصبي التي سماها بنفسه « مستقلة » والتي ميزها الى قسمين الحبي المستقيم (أورتوسامباتيك) ؛ والحبي الهامشي (باراسامباتيك) ، مدينة بالكثير الى لانغلي (1852- 1925) .

واسم شيرنغتون (1859- 1952) وأعماله حول صلاحية نزع الدماغ (1897) ، وحول التعصيب

التبادل ، ومراجعتها لنظريات الانعكاس ، المؤدية الى مفهوم الوظيفة التكاملية في الجهاز العصبي (1906) ، كل ذلك هيمن من بعد على السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر .

ويجب أن نذكر أيضاً بايليس Bayliss (1860 - 1924) وستارلنغ (1866 - 1927) اللذين اشتركا بحكم الصداقة في البحث . واكتشف بايليس السكرتين (هرمون معوي يحث البنكرياس والكبد على الإفراز) (1902) ، وهو أول هرمون نموذجي بالمعنى الدقيق للكلمة التي اخترعها ستارلنغ (1905) .

الفيزيولوجيا في روسيا . - كان ك. أ. فون باير مؤسس علم الأجنة الحديث . وقد أُنشئ في بداية القرن التاسع عشر شهرة جامعة سان بطرسبرغ التي استدعته .

ولكن تحت تأثير علماء من أصل روسي ، تأسست مدرسة فيزيولوجية حديثة وتطورت في روسيا على غرار المدارس الفرنسية والألمانية واستيحاء منها . كان تارشانوف (1848 - 1909) استاذاً في سان بطرسبرغ بعد أن عمل عند كلود برنار : واليه يعود الفضل في اكتشاف الانعكاس « السيكوغالفاني » . وكان سيتشنوف (1829 - 1905) استاذاً في أوديسا وفي موسكو ، بعد أن كان تلميذاً لودوغي وقد اكتشف التعطيل المركزي للانعكاسات المخية النخية (1863) . وكان من تلاميذه بافلوف (1849-1936) الذي كان قد عمل أيضاً عند لودوغي . وابتكر بافلوف سنة (1894) تقنية فيزيولوجية لدراسة الإفراز المعدوي : المعدة الصغيرة أو جيب بافلوف . ومكنته هذه التقنية حول علم الانعكاسات في ما يخص الإفرازات من تحليل وظائف الغشاء الدماغي ، بمقدار ما هو حلقة اتصال بين الانعكاسات الحسية والحركية . وأعماله حول الانعكاسات الشرطية ، بفضل أجهزة تحليل وتغيير دقيقة للإشارات (دورة الصمت) هي التي أعطت المجد لبافلوف ، ومكنته من نيل أول جائزة نوبل تقدم لفيزيولوجي (1904) . وأعماله هذه اجتذبت الى محبته العديد العديد من الطلاب ، وأعطت للفيزيولوجيا الروسية المعاصرة نسقها العلمي الأصيل .

الفيزيولوجيا في الولايات المتحدة الأمريكية . - ان الملاحظات حول حركات المعدة والإفرازات المعدوية (1833) التي قام بها و. بومونت (1785-1853) هي أفضل مساهمة أميركية في الفيزيولوجيا في الثلث الأول من القرن التاسع عشر .

تأسست الجمعية الأمريكية لفيزيولوجيا سنة 1887 على يد باحثين شبان كانت قد اجتذبتهم الى أوروبا شهرة كلود برنار أو لودوغي ، فأسسوا في بعض الجامعات ، في الولايات المتحدة ، مختبرات ومعاهد للبحوث سرعان ما تكاثرت . ومدج . ك. دالتون (1825 - 1889) يد المساعدة ، في بوفالو للتقنيات العملية التي ابتكرها كلود برنار . وأسس بودينش (1840 - 1911) ، تلميذ لودوغي ، مختبر الفيزيولوجيا التجريبية في جامعة هارفارد في بوسطن (1871) . ونحن ندين له بإثبات لا تعيبة العصب ، وقانون « كل شيء أو لا شيء » في إثارة العضلة القلبية . وكان من تلاميذه هـ. كوشن (1869 - 1939) الذي درس وظائف الغدة النخامية والهيپوتالاموس (Hypothalamus) . وو. ب. كانون (W.B. Cannon) (1871 - 1945) الذي اشتهر بتصوره « للانضباط الذاتي » (Homéostasie) .

IV - تقنيات الفيزيولوجيا ومشاكلها في القرن التاسع عشر

إنه من خلال بناء أدوات ، ومن خلال الاستعمال المنهجي لتقنيات الاستكشاف والقياس ، أكثر مما هو الاهتمام بالتجريب ، تميزت فيزيولوجيا القرن التاسع عشر عن فيزيولوجيا القرن الثامن عشر وبفضل الاعتراف الأعمى للفيزياء والكيمياء بأنها علمان رائدان ، استطاع الفيزيولوجيون أن يعتمدوا في دراسة مسائل البيولوجيا تقنيات التحليل والقياس التي قدمت في مجال الظواهر غير العضوية السراهير على صحتها . ومن وجهة نظر المعدات الفيزيائية ، يعود الحفز إلى سواريه Poncelet (1799 - 1869) .

ومن وجهة النظر المتعلقة بالتقنيات الكيميائية ، يعود الحفز إلى ج. فون ليبغ (1803 - 1873) . إذا كانت الفيزيولوجيا قد تكونت في القرن التاسع عشر بفضل اتحاد هذين النقيضين في البحث ، فذلك أنه ، منذ أعمال لافوازييه Lavoisier ولاپلاس Laplace ، كانت مسألة المصادر وقوانين استخدام الطاقة المحررة بفضل التأكسيدات هي المسألة الأساسية في حياة الأجسام الحية .

نأخذ مثلاً من أعمال أ. ج. ماري : تناولت هذه الأعمال دورة الدم (1863. 1881) وتناولت فيزيولوجيا الحركة أو الانتقال (1868. 1873. 1894) وقبل أن يأخذ ماري Marey عن علم الفلك (جانسن ، باريس ، 1874 : دراسة حول انتقال الزهرة أمام الشمس) تقنية التصوير الضوئي الفوتوغرافي ، كان ، بالتعاون مع صديقه البيطري آ. شوفو ، قد زكى طريقة التسجيل الغرافي . وكان السيفيموغراف المقارن الذي وضعه ماري تحويراً من سيفيموغراف فيرورد Vierordt (1853) . هذه الآلة كانت تدانها مريحاً من السيفيمومتر القديم ومن الأسطوانة التسجيلية التي أضافها لودويغ في كيموغرافه الشهير سنة 1846 ، إلى اخيماديناوموتر الذي صنعه بوازيه سنة 1827 . هذه الآلة الأخيرة ، إذ وصلت مباشرة بالأوعية الدموية ، كما في الماضي بالنسبة إلى مانومترات ستيفن هالس ، إنما بواسطة محلول ضد التحتر ، أتاحت لبوازيه أن يحقق البحوث الأولى في الفيزيولوجيا الوصعية والأدواتية في القرن التاسع عشر (حول قوة القلب الأورطي ، 1828) . ومن بوازيه إلى ماري Marey ، وعبر لودويغ وفيرورد ، كان المحلول المتبادل للتقنية والبحث أحد أفضل الأمثلة في النسق العلمي في فيزيولوجيا القرن التاسع عشر . ولم يخطئ ماجندي حول أهمية أعمال بوازيه ، وهو من سماه في كتابه «دروس حول الظواهر الفيزيائية في الحياة» (1842) ، «الفيزيولوجي الفيزيائي الشاب» .

وإذا كانت فرنسا ، بفضل بوازيه ودوتروشي ، محل ولادة الفيزيولوجيا الفيزيائية ، فإن ألمانيا ، بفضل مون ليبغ ، كانت الأرض الأكثر حصصاً حيث تمت في البداية في الكيمياء البيولوجية . وبعد دراسات حول الصيدلانية ، جاء ليبغ يعمل في فرنسا (1822 - 1823) تحت رعاية غي لوماسك ، وبلور ودوماس . وعين في بادئ الأمر معاوياً سنة 1824 ، ثم استأداً سنة 1836 للكيمياء في غيسن . وبعدها جعل ليبغ من هذه الجامعة الصغيرة نقطة جذب لكل الكيميائيين في أوروبا . وكان مختبره ومعهم كيمودجين لمؤسسات البحوث التي تكاثرت فيها بعد في ألمانيا . وكان مؤسس «حوليات الكيمياء والصيدلة»

ويكفي القاء نظرة على كتاب تيسيطي نشره ليبينغ سنة 1851 بعنوان « رسائل جديدة حول الكيمياء » (من 31 إلى 35) لكي يكون المرء فكرة حول مسائل الفيزيولوجيا التي زعم ليبينغ ويحق أنه أسسها بصورة إيجابية على أعمال في الكيمياء العضوية : التنفس والحرارة الحيوانية ، الدور الحيوي والطاقي للأطعمة ، تأثير الأملاح على التغذية ، تركيب المواد الأوتية في التكوين الحيواني ، مفاعيل الأنظمة الحيوانية . وقد استطاع أن يكتب ما يلي :

« تركزت الفيزيولوجيا حتى على أساس مزدوج : على الفيزياء الفيزيولوجية ، المرتكزة بذاتها على التفسير ، ثم على الكيمياء الفيزيولوجية ، المشتقة من الكيمياء الحيوانية . ومن دمج هذين العلمين ينبثق علم جديد هو الفيزيولوجيا الحقة التي تُكوّن بالنسبة إلى العلم الذي نطلق عليه اليوم هذا الاسم ، ما تشكله الكيمياء الحديثة بالنسبة إلى كيمياء القرن الماضي » .

إن كتب ليبينغ الأولى الكبرى كانت : « الكيمياء العضوية المطبقة على الفيزيولوجيا النباتية وعلى الزراعة » (1840) ، و « الكيمياء العضوية المطبقة على الفيزيولوجيا الحيوانية وعلى الباثولوجيا » (1842) . وهذا الكتاب الأخير كان معاصراً تماماً لكتاب « دروس حول الظواهر الفيزيائية في الحياة » وكان يتنافس مع تعليم ماحندي من أجل نزع الثقة ، على أساس البرهان التجريبي ، من الطروحات الحيوية ، وذلك بإثبات أن الطاقة ذات المنشأ الغذائي ، والمكثلة بالقيم الحرارية المختلفة للمواد الغذائية ، هي السبب الإيجابي للظواهر البيولوجية الأساسية .

في كتاب « حوليات حول الكيمياء والصيدة » الذي نشره ليبينغ سنة 1842 وجدت الدراسة النظرية التي وضعها ح. ر. ماير بعنوان « تمركز أورداي كرافت در انبولن ناتور » . وفيها يعلن أول مبدأ من مبادئ الترموديناميك ، قبل مذكرة هلمولتز (1847) .

إن دراسة الظواهر وصياغة قوانين الطاقة البيولوجية قد استكملت فيما بعد ، سواء في فرنسا أو ألمانيا ، وعملت على جمع الفيزياء والكيمياء بشدة . في سنة 1848 شبه هلمولتز العضل بمصدر الطاقة . وفي سنة 1861 نشر بكلار بحثاً تجريبية حول علاقة التقلص العضلي بتوليد الحرارة . وفي سنة 1849 نشر رينيه وريست « بحوثها الكيميائية حول تنفس الحيوانات » وفيها درس التغيرات لما سماه فلوجر الحاصل إتفسي (1877) . وصاغ مارسيلين برتيلوت ثم نسق قوانين الطاقة الحيوانية في كتابه « محاولة في الميكانيك الكيميائي » (1879) مسبوقة بمذكرة « حول الحرارة الحيوانية » (1865) . وأخيراً قام روبنر Rubner ، واتوتر Atwater ويندكت بتعميم البحوث التي تمت طيلة نصف قرن ، بعد تأكيدها في سنة 1904 .

ومهما بدت خصبة ، (في مجال الفيزيولوجيا) ، التقنيات التحليلية المأخوذة عن الفيزياء وعن الكيمياء ، فإنها لم تكشف أو تحل محل هذه الطريقة ز. البحوث التي سماها كلود برنار الفيزيولوجيا العملية ، والتي استعارت أسلوب التفسير على الحي ، وإعادة التفسير أو إستئصال أعضاء ، من أجل استحداث اختلالات في نية الجسم الحيواني وفي طبيعة الوظائف في الجسم السليم . هذه الطريقة التقليدية ، كانت ، في بداية القرن التاسع عشر ، طريقة ليغالوا Legallois وماجندي Magendie . واستمرت متبعة عند فلورنس Flourens . وقرها فريتش Fritsch وهيتزغ Hützig بتقنية التحفيز

الغالفاني (نسبة الى غالفاني Galvani) [السبري ، المجيبي] للقفرة [الدماغية] من أجل تمييز الوظائف المحركة عن الوظائف الاحساسية في الجيوب الدماغية (1870) . ولم يشأ غولتز أن يتعرف على طريقة أخرى .

إن غالبية الأعمال حول الغدد ذات الافراز الداخلي بحثت ، في بادئ الأمر ، في استتصالات الأعضاء ، عن عناصر تفسير وظائفها . هكذا عمل برون - سيكار Brown-Séquard ، بالنسبة الى الغدد فوق الكلتيين (1856) وموريتزشيف Moritz Schiff بالنسبة الى الغدة الدرقية (1859 و 1883) ، وي . غلي E. Gley بالنسبة للغدد المجاورة للدرقية (1891) . ولكن قبل العثور كيميائياً على العناصر الناشطة في الافرازات الداحلية (الأدرينالين على يد تاكامين Takamine سنة 1901 ، والتيروكسين على يد كندال Kendall سنة 1914) ، طُلب البرهان التجريبي للأثر الكيميائي للغدد الصماء ، في مجال تقنية زرع الاعضاء . إن حركة آ . آ . برتهولد حين زرع خصيتي ديك في تجويفه الاحشائي سنة 1849 وكرر ذلك ، من غير تقليد ، شيف حين زرع الغدة الدرقية من كلب في كلب آخر استصلت منه فيما بعد غدته الدرقية ، كانت أول مثل لعملية تجريبية أصبحت كلاسيكية في أواخر القرن .

وتلاقت تقنيات الفيزيولوجيا العملياتية مع التقنيات الجديدة في الفيزيولوجيا الكهربائية من أجل التمييز التوبوغرافي لمختلف الضمامم الوظيفية في الحبل الشوكي ، ومن أجل وضع أطلس لوظائف الدماغ . وانه على أساس تقنيات عملياتية ذات دقة بالغة ، وعلى أساس « استعدادات » متنوعة (حيوان نزع غشاة دماغه ، أو نزع دماغه أو حبله الشوكي) تركزت اكتشافات شيرنغتون . وفي دراسة وظائف « الودي » ، سبق التفسير على الحسي التجريب الكيميائي الذي استخدمه لانغلي ؛ ويفضله أثبت كلود برنار دور الجهاز الحسي في إشاعة الحرارةيات عن طريق تنظيم الدفق الدموي في الشعيرات (1854) .

وفيزيولوجيا المضم مدينة في تقدمها أيضاً للطريقة العملياتية . إن المراقبة التي قام بها و . بومونت W. Beaumont لرجل أصيب بجرح من سلاح ناري ، تسبب له بفرحة في المعدة ، أوحى بأن واحد ، وعلى حدة لـ ف . آ . باسوف (موسكو ، 1842) ولـ بلوندلوت Blondlot (نانسي ، 1843) فكرة القرحة المعدوية المستحثة تجريبياً . إن هذه التقنية قد كررت واستكملت من قبل بافلوف (1890) .



إن الفيزيولوجيا في القرن التاسع عشر التي كانت في بعض الأحيان كثيرة الاحترام والتقدير بخصوصية الوسائل ، ان لم يكن بقوانين الحياة ، كما عند كلود برنار ، والتي كانت أحياناً كثيرة الخضوع لقانون الفيزياء والكيمياء ، كما عند لودويغ ، والتي كانت أحياناً أكثر اجتهاداً في تطبيق نموذج رياضي ، كما عند هلمهولتز قد أظهرت مع ذلك نوعاً من الوحدة في الاستلهام وفي المشروع المبني . إنها علم ثوابت عمل الأجسام الحية . ومن دلائل تشكلها ، من ماجندي الى شيرنغتون وإلى بافلوف ، كعلم قائم بذاته ، كثرة الحالات التي استقلت فيها البحوث واستعبدت ، وكذلك الاكتشافات التي

أجريت مستقلة أو متكررة ، بدون نزاع على الأسبقية أو معها . ان تاريخ الفيزيولوجيا قد استقل نسبياً عن تاريخ علماء الفيزيولوجيا . وليس من المهم من - من بل أو من ماجندي - اكتشاف حقاً ، في الأول ، وظيفة الجذور الفقارية ، ومن - من مارشال هال أو ج. مولر - اكتشاف الأثر الانعكاسي ، ومن - من بوا - ريمون أو هرمان - اكتشاف تيار العمل العضلي ، ومن - من فريه Ferrier أو مونك - اكتشاف مساحة الكظر (أو قشرة الدماغ) البصري . ومنذ الوقت الذي تواءمت فيه التقنيات والقضايا وبحث بعضها بعضاً ، وحيث أخذت الأدوات تخصص وتنمى حتى يتلاءم استخدامها مع فرضيات العمل ، يتوجب القول ان العلم قد صنع العلماء بقدر ما صنع العلماء العلم . وعندما يتعلق البحث بالمنه ، ويستطيع ، عند الضرورة ، أن يستغني ، ولو لوقت قصير ، عن الهوى ، عندها يستحق العلم التجريبي اسمه .

الكتاب الثاني

تكون الأشكال

الفصل الأول

التشريح المقارن للفقريات

I - جورج كوفيه G. Cuvier وتطور علم التشريح المقارن

الطليعيون أو الرواد - يمكن اعتبار كوفيه (1769-1832) ، بمعنى من المعاني ، كمؤسس علم التشريح المقارن ؛ بمعنى فقط ، إذ في عمل أرسطو ، وبصورة خاصة في كتابه « أقسام الحيوانات » نجد هذه المقارنة بين الأعضاء ، وهي موضوع التشريح المقارن بالذات ، بقصد البحث عن قوانين التنظيم . ويمكن العثور أيضاً على سابقين أقرب ، لقد أشار بوفون الذي لم يكن عالماً تشريحياً إلى الأهمية التفسيرية للمقارنة :

« أية معرفة حقيقية يمكن استخلاصها من موضوع بمفرده ؟ إن أساس كل علم ، ألا يقوم على المقارنة التي يستطيعها العقل البشري ، حول المواضيع المتشابهة والمتنوعة ، وحول خصائصها المتشابهة أو المتضادة ، وحول خصائصها النسبية كلها ؟ » .

ويضم دائماً إلى الوصف الخارجي للأنواع الوصف الداخلي ، الوصف التشريحي . إن هذا الوصف الأخير ، كما هو معلوم ، هو من صنع مساعد بوفون ، المسمى دويتون Daubenton الذي طبق بشكل كامل ، أفكار بوفون Buffon ، وقد حاول أن يسمي بنفس الاسم نفس الأجزاء في الإنسان والحصان . وانتقد شكل عمل سابقه ، فكتب يقول :

« إن هذه الطريقة (أي الطريقة التي تُعطي الأسماء الخاصة لأجزاء الحصان) يمكن أن تعتبر مقبولة عند الذين يعالجون فقط الحصان . ولكنها تحمل عقبات أمام التاريخ الطبيعي ، عندما يراد مقارنة كل الحيوانات بعضها ببعض » .

ومع هذا ، لم يتم التوصل على كل حال الى علم التشريح المقارن ، لأن تقريب الأوصاف لا يمكن أن يتم إلا بحسب الأنواع . وعثر فيك دازير Vicq d'Azyr على مفهوم أرسطو القديم ، وبوجه توضيح الأوصاف تبعاً للأعضاء ، فأوجد بحق هذا العلم . وكما كتب فلورانس Flourens : « العضو هو الموضوع الذي نجح مقارنته في علم التشريح ، كما أن النوع هو الموضوع في الزولوجيا . » .

• التشريح المقارن عند كوفيه . - وسع كوفيه هذه المقارنة المستندة الى الأعضاء فأشملها كل الحيوانات الفقرية . نذكر في بادئ الأمر أنه لم يبحث في تتبع التغيرات في مجمل المملكة الحيوانية ، لا جهلاً ببنية غير الفقريات ، كما فعل زميله لامارك - فقد درسها بشكل معمق - بل لأنه ميز بين أربعة تصاميم بعيدة بعضها عن بعض : تصميم الفقريات ، تصميم الرخويات ، تصميم ذات المفاصل ، تصميم إشعاعي .

وبالإقتصار على الفقريات فقط ، من الممكن استخلاص القوانين الكبرى في تنظيمها . وهناك موضوع أساسي يسيطر على كل هذا البحث : وهو « مبدأ الترابط العضوي » .

إن مبدأ الترابط هذا يستعيد الفكرة الأرسطية حول تناسق الوظائف وترابط كل أجزاء الجسم من أجل القيام بالوظائف المطلوبة . وهذا المبدأ تنبأ به بوفون الذي كتب بمناسبة « طبيعة الطيور » يقول « لو كانت الطبيعة عندما أعطتها سرعة الطيران ، جعلتها قصيرة الابصار ، لكانت هاتان الخاصيتان متناقضتين . . . ولو ان الطبيعة أنتجت طيوراً ذات رؤية قصيرة ودات سرعة طيران سريعة جداً ، لتلفت هذه الأنواع بفضل تناقض الصفات ، التي لا تمنع عمل الأخرى ، بل تعرض الفرد لمخاطر لا حصر لها ، ومن هنا نستنتج أن الطيور ذات الطيران الأقصر والأبطأ هي أيضاً ذات البصر الأقل طولاً » (مجلد 16 ص 9-8) .

هذا المفهوم عبر عنه أيضاً بوضوح أكبر فيك دازير Vicq d'Azyr ، ولكن كوفيه هو بحق الذي جعل منه - عند صياغته بشكل أكثر وضوحاً ، وعند تطبيقه إياه على تركيباته الاحاثية (أي المتعلقة بأشكال الحياة في المتحجرات) - المبدأ الموجه في علم التشريح المقارن وفي علم الاحاثية (Paléontologie) . ان مبدأ الترابط يركز على فكرة أكيدة مفادها أنه في الكائن الحي ، لا تراكم الأعضاء ببساطة ، بل يؤثر بعضها في بعض وتتعاون من أجل عمل مشترك .

« كل كائن حي يشكل مجموعاً أو نظاماً وحيداً ومغلقاً ، تتطابق أجزاؤه وتتفاعل في نفس العمل ، بردات فعل متبادلة . ولا يمكن لأي جزء أن يتبدل دون أن يتبدل الأجزاء الأخرى أيضاً وبالتالي إذا أخذ على حدة ، يدل ويعطي كل الأجزاء الأخرى . . . إذا كانت أمعاء حيوان ما قد نظمت بشكل بحيث لا تهضم إلا اللحم النيء ، فيتوجب أيضاً أن يكون فكاه مبنين بحيث يلتهم الفريسة ، وتكون غناله بحيث تمسك بها وتمزقها ؛ وتكون أنيابه بحيث تقطعها وتقسّمها ؛ ويكون الجهاز كله المتعلق بأعضاء الحركة بحيث يلحق بها ويمسك بها ؛ وتكون أعضاؤه الحسية بحيث يراها من بعيد ؛ ويتوجب أيضاً أن تكون الطبيعة قد وضعت في دماغه الفريزة ليعرف كيف يحنئ . وينصب الأشرار للفريسة . تلك هي الشروط العامة في جنس آكلات اللحم . . . كل هذه الشروط يجب أن تتناسق بدقة فيما بينها ، فإذا فقد أحدها فالجسم يتوقف عن العمل ويهلك الحيوان .

وإن نحن نظرن الآن الى حيوان آكل للثشب فإننا نلاحظ أن مجموع هذه الشروط يتغير : الاسنان والمعدة وأعضاء الحركة ، والأعضاء ، والحواس ، تتخذ أشكالا جديدة ، ولكن العلاقات الضرورية تبقى تربط الأعضاء فيما بينها ، فيكون هناك ترابط . ومن شكل أحد هذه الأجزاء ، من شكل الإنسان مثلاً ، يمكن أن نستخلص شكل اللقمة [أي شكل التواء المفصلي في طرف العظم] وشكل أعضائه المضممة » (ج . كوفيه : خطاب حول ثورات العالم » (1812) .

إن مبدأ الترابط لا يطبق بنفس الدقة على كل أجزاء الجسم .

« وحتى الطبيعة تبدو وكأنها تلعب لعبة لا تنتهي من خلال كل الأقسام الثانوية . إن هذه الأخيرة لا تحتاج إلا إلى شكل وإلى توفر شرط ما ضروري . ويبدو ، حتى في أغلب الأحيان أن هذا الشكل لا يحتاج لأن يكون مفيداً لكي يتحقق : يكفيه أن يكون ممكناً ، أي أن لا يحطم انسجام المجموع ، ونجد أنفسنا ، ونحن نتبعد عن الأعضاء الرئيسية ونقترب من الأعضاء الأقل أهمية ، أمام تشكيلات متنوعة ومتعددة جداً ؛ وعندما نصل إلى الخارج إلى المظهر ، إلى حيث تقضي طبيعة الأشياء بوجوب تحديد موضع الأجزاء الأقل أهمية أساسية ، عندها يصبح عدد التشكيلات ضخماً إلى حد عجيزت معه حتى الآن كل أعمال علماء الطبيعة ، عن إعطاء فكرة عنه » .

معنى مبدأ الترابط .- منذ بلانفيل Blanville تناقش علماء الطبيعة كثيراً حول قيمة وحول أهمية مبدأ الترابط ، وذلك من أجل حصر مجالات التطبيق ، ومن أجل الإشارة إلى نواقصه وشكوكه ولكن لا يبدو أنهم لامسوا المعنى الفلسفي . إن هذا المبدأ قد لعب مع ذلك دوراً ضخماً في حركة فكرية قلما اعتاد العلماء على ربط كوفيه بها : ألا وهي الحركة العقلانية .

ومن العودة إلى صفحات « فلسفات كلاسيكية في القرن التاسع عشر » حيث يحلل تين Taine مفهوم السبب ، ويحاول الرجوع إلى القانون المولد ، إلى « القاعدة الخالدة » أو البديهية الأولى . إن هذه الصفحات تسلمهم أفكار كوفيه حول مبدأ روابط العلاقات ، فتعيد إخراجها في بعض المقاطع ، كلمة . وبين أ . ميرسون Meyerson تماماً أن طريقة كوفيه لا تقتصر على الوصف فقط ؛ إنها تهدف إلى وضع نظرية عقلانية للمعرفة العلمية فهي تبحث عن تحديد العلاقات التي من شأنها أن تبين وأن توضح ، وبفهم المستوى الذي تبينه وتمتاز به الرياضيات . ومسار طريقة كوفيه استقرائي بصورة أساسية .

في العمق ، هذا ما يبدو لنا ، إنه يميز عمل كوفيه التشريحي ، وفكرته البيولوجية ؛ أنه يضع دائماً في المقام الأول الناحية الوظيفية . وبهذا يتعارض مع التشريح المورفولوجي الخالص (الشكلي) الذي قال به جوفروا سانت - هيلير « وفلسفة الطبيعة » ، ويقترب من تراث أرسطو . والفقرة التالية تعبر بالشكل الأكثر كمالاً عن هذه الحالة الفكرية :

« إن الطبيعة التي لا يتفد خيرها وخصبها ، والقوية جداً في إنجازاتها ، هذا إذا أغفلنا ما تقتضيه من التناقض ، لم تتوقف عند المقارنات التي لا تعد ولا تحصى ، بين الأشكال العضوية والوظائف التي

تؤلف المملكة الحيوانية ، إلا في اللامتلازمات الفيزيولوجية ؛ لقد حققت كل التركيبات التي لا تعارض فيها ، وهذه التعارضات ، وهذه المتناقضات ، وهذه الحالة التي تمنع تعايش هذا التغيير مع تغيير آخر هي التي تقم بين هذه المجموعات المتنوعة من الكائنات ، هذه القوارق ، وهذه الثغرات التي تشكل الحدود الضرورية » (كوفيه ، « دروس في التشريح المقارن ») .

إن مبدأ شروط الوجود يستخلص من مبدأ الترابط .

وفي ضوء التشريح المقارن يعالج كوفيه المسائل الكبرى موضوع النقاش في زمنه : سلم الكائنات ، المقارنة بين الجنين في الثدييات وبين الراشدين من الفقريات البيضية ، وحدة التصميم .

سلم الكائنات .. في بداية القرن التاسع عشر ، كان الإيمان بوجود سلم كائنات ، ما يزال قوياً لدى عدد من علماء الطبيعة . وعارض كوفيه مثل هذا النمط من الترابط . وأشار الى أنه إذا نظرنا الى كل عضو بمفرده ، وإذا تتبعناه في كل أصناف طبقة ، نجده يتغير فعلاً بوتيرة غريبة فريدة . ونسأله يتحول الى شبه أثر ، في الأنواع التي لا تحتاجه ولا تستعمله « بحيث أن الطبيعة تبدو وكأنها لم تبق عليه إلا لتبقى أمينة للقانون القاصي بعدم القفز » . ولكن الأعضاء لا تتبع كلها نفس المسلك في التغيير : فمثل هذا العضو نجده في أعلى درجات الكمال في صنف معين فيما نجد عضواً آخر يكون كذلك في صنف آخر مختلف . بحيث أننا لو أردنا ترتيب الأصناف سناً لكل عضو ، فهناك مجال لوجود عدد من السلاسل بعدد الأعضاء المتخذة كمعيار منظم . فضلاً عن ذلك أن هذه السلسلة من الكائنات المتزامنة والمتنوعة لا يمكن أن توجد إلا في الخيال .

إذ ، كما أن « أجزاء كل كائن ، يجب أن تكون في ما بينها على نوع من الانسجام ، وهو شرط ضروري لوجودها ، فمن الواجب أيضاً أن تكون الكائنات فيما بينها في إنسجام مماثل حفاظاً على نظام الكون . إن الأصناف هي ضرورية جميعاً لبعضها البعض ، بعضها كفريسة ، وبعضها الآخر كمدمر أو ككاتب للانتشار . ولا يمكن بتعلق تصور حالة شيء يكون فيها وجود الذباب بدون وجود سنونو وبالعكس » (دروس في التشريح المقارن ، مجلد 1 ص 102) .

إن مبدأ الترابط يجد هنا كماله . ولا يكفي أن تكون الأجزاء في الكائن متجانسة فيما بينها ، بل يتوجب أن تكون الكائنات فيما بينها ذات إنسجام مماثل . وإلى الترابط الداخلي يجب أن يضاف الترابط الخارجي .

نظرية التوازي .. ذكر آتيان جيوفروا سانت هيلير أنه إذا كان الجنين في الثدييات يشبه في تكثر عظامه وفي جمجمة التكاثر المحفوظ في جمجمة الفقريات البيضية الراشدة ، فإنه يستنتج من ذلك أن الطبقات الدنيا من الفقريات هي بنوع من الأنواع الجنين في العليا . ولا ينزع كوفيه بصورة كاملة هذه الكيفية في الرؤية ، ولكنه يرفض التعميم الذي أريد به نشر هذا المبدأ ليشمل الحيوانات الأكثر انحداً . إن نقطة الثدييات تظهر في بداية تطورها بشكل مستطيل ، فزعموا أنها دودة أو حشرة . بحيث أن الثديي قبل أن يصل الى مرحلته النهائية ، قد مر بأشكال كل الحيوانات الأخرى ؛ إن الحيوان الكامل يحتوي كل الحيوانات الأخرى . وقد عاب كوفيه هذا بحكم متور فقال :

« إن هذه الأفكار التي تتكيف وتتلاءم مع أنظمة ميثافيزيكية كان لها انتشار بعض الوقت في ألمانيا ، حيث سيطرت فيها ومادات . وقد تم بسهولة عرض الوقائع التي تبدو ملائمة لها ، كما هيمن الصمت على الأفعال التي تغيرها ، إلى أن جاء أخيراً رجال أشد دقة في ملاحظاتهم ورفابتهم ، فأبرزوا من جديد الحقيقة . ولكن هذه الأفكار مهما كانت مضلّة ، فإنها تحتمل شيئاً ما من الممكن ، وهي تشكل مجموعاً عالياً مرتبطاً بمفاهيم فلسفية عليا . . . » (دروس في التشريح المقارن ، مجلد 1 ص 62) .

وقد حارب كوفي بعنف مبدأ وحدة التصميم وكان هنا مجال الفرصة لتقاش شهير جرى بينه وبين جوفروا سانت هيلير؛ وتكلم عن هذا بعد دراسة عمل هذا الأخير .

II - العمل التشريحي الذي قام به اتيان جوفروا سانت هيلير

نجد ، مع اتيان جوفروا سانت هيلير محاولة لاقامة علم تشكيلي خالص . وهو بهذا ينضم ، مع بقائه على صعيد علمي خالص ، إلى المفهوم السائد لدى فلاسفة الطبيعة . ومنذ 1797 ، وفي سن الثالثة والعشرين ، أعلن في أحد كتبه الأولى ، آراءه حول وحدة التركيب العضوي ؛ كتب يقول :

« يبدو أن الطبيعة . . . لم تكون كل الكائنات الحية إلا وفقاً لتصميم موحد ، مشابه لذاته ، بشكل أساسي ، من حيث مبدئه ، ولكنها نوعت بآلاف الأشكال الأقسام الثانوية . . . وهذه الأشكال ، في كل طبقة من طبقات الحيوانات ، مهما تنوعت ، تنتج كلها ، أساساً ، من أعضاء مشتركة بين الجميع » (مذكرة حول العلاقات الطبيعية بين الماكيس ، « المحزن الموسوعي » ، مجلد 7) .

هذا المفهوم في وحدة التركيب سوف يتواجد بعد ذلك في كل أعماله . والحقيقة تقال أن الفكرة لم تكن جديدة بإطلاق . . . فمنذ 1557 عرض ييار بيلون ، في كتابه « صور الطيور » ، « صورة لكتلة العظام البشرية ، بالمقارنة مع تشريح عظام الطيور ، بحيث أن أوصاف هذه تنطبق على أوصاف تلك ، مما يظهر مدى عظم التشابه بين النوعين » . وأعلن نيوتن في كتابه « البصريات » ، هو أيضاً فكرة وحدة التركيب . وكتب بوفون في مقالاته « الحمار » وفي « خطاب عام حول القزود » ، « إن الكائن الأسى لم يشأ استعمال غير فكرة واحدة ، ولكنه نوعها بذات الوقت لتشمل كل الكيفيات » . ولاحظ ميك دازير (خطاب أول حول التشريح) هذا المسار في الطبيعة ، التي تبدو « وكأنها تعمل دائماً وفقاً لنموذج أولي وعام ، فلا تنبذ عنه إلا مكروه ، ونحن نجد أثر ذلك في كل مكان » . وهناك أسماء كثيرة أخرى يمكن أن تضاف إلى هذا التعداد الموجز .

ولكن الفكرة ارتدت كامل قوتها في عمل جوفروا سانت هيلير فشكلت المبدأ الملهم للبحث . ومتمتده ، في شكله النهائي معروض في كتابه الكبير الذي صدر سنة 1818 بعنوان « فلسفة التشريح » . في الأعضاء التنفسية بين علاقة التحديد والتشابه في أقسامها العظامية ، وبشكل

خاص في الخطاب التمهيدي وفي المدخل . « هل يمكن رد الحيوانات الفقيرة من حيث تنظيمها الى نمط موحد ؟ » . تلك هي المسألة التي سوف يجيب عليها جوفروا . إن بحثه ، وإن ما قدمه العلم من عقلية جديدة ، قد تركز في هذه المشابهات . حتى الآن ، وبحسب رأي جوفروا دائماً ، لم يتم التركيز إلا على الفروقات ؛ وهو عمل سهل نسبياً ، يوافق المرحلة الأولى من علم التشريح . ولكن من أجل إنجاح المشروع ، ومن أجل تجاوز تأكيدات المؤلفين الذين أحسوا بالملء دون أن يبينوه ، ودون أن يعطوه الاتساع اللائق به ، كان لا بد من ابتداء نهج جديد . وهكذا نشأت « نظرية المشابهات » . على أية قواعد يتوجب الارتكاز من أجل العثور على المشابهات ؟ إن وحدة الوظيفة لا يمكن الأخذ بها ، لأننا نعلم أن نفس الأعضاء يمكن أن تقوم بوظائف متنوعة جداً ، كما أن أعضاء مختلفة تماماً تقوم بنفس الوظائف . كما أن الشكل والفضخامة لا يمكنهما أيضاً تقديم الاشارات التي يمكن أن تتخذ معياراً للمشابهات . ولم يبق إلا الوضع النسبي ، وإلا ترابط الأعضاء فيما بينها وهنا نجد المعطى الثابت : أن العضو أقرب للإلغاء منه إلى الانتقال ، « ومبدأ الترابط » سيكون بالنسبة الى جوفروا ، كما يقول هو بالذات ، بوصلة ، أو خيطه الهادي . وإن نحن أهملنا هذا الرابط الفيزيائي الذي يجمع بين عضو وعضو آخر ، فإن غرابة الظواهر الشكلية سوف تتحكم بنا ؛ إن المشابهات سوف تختفي في ظل الفروقات ، ووحدة الحيوان المجرد سوف تزول تحت قناع اختلاف الأشكال العضوية .

وهناك مثل ، بسيط جداً ذكره جوفروا ، يعطي فكرة واضحة عن طريقته : ننظر مثلاً إلى القسم الأخير من الطرف الأعلى . إنه يتضمن ثلاثة أقسام : الدراع ، الزند ، وقسم أخير من شأنه أن يأخذ أشكالاً متنوعة جداً (يد ، مخالب ، جناح) ولكنه ، تحت هذه التغيرات الثانوية ، له أساس مشترك : إنه الجزء الثالث في الطرف الأعلى . وهنا يوجد معطى ثابت يحدد العضو . إن الاستعمال لا يحدده إلا بشكل سطحي . وهل من شيء أكثر اختلافاً ، للعين غير الواعية ، من يد أو جناح ، أو زعنفة ؟ في نظر عالم التشريح إنها جميعاً شيء واحد .

إن مبدأ الترابط ينتج من حديد إدخال الأعضاء البدائية ضمن نطاق العلم . في العلم التشريحي المقارن الذي يضع في المقام الأول الاعتبار الوظيفي ، لا يكون للأعضاء البدائية أية أهمية . فإذا انعدم وجود العضو الكامل ، فإننا نعث على العناصر التي تدل على استمرارية المشابهة .

وأخيراً هناك مبدأ ثالث هو مبدأ « تأرجح الأعضاء » وينتج عن مبدأ الترابط . إن الزيادة في نقطة ما تجر نقصاً في نقطة أخرى : يقول جوفروا : « إن العضو الطبيعي أو المريض لا يكتسب أبداً ازدهاراً خارقاً إلا إذا أصاب الوهن عضواً آخر في نظامه أو في علاقته » ولهذا يقترن العضو البدائي ، بوجه عام ، بعضٍ نامٍ جداً .

العلاقات المتبادلة والترابط - رأينا بتمعن بدايات التشريح المقارن في كتابين متعارضين : كتاب كوفيه ، المرتكز على مبدأ الاتصال أو العلاقة ؛ وكتاب جوفروا الذي ينطلق من مبدأ الترابط الموثق . هل هناك حقاً تعارض بين وجهتي النظر هاتين ؟ وهل يمكن اعتبار العلاقات والترابط أمرين متباشرين أو متناقضين ؟

كان جوفروا سانت هيلير يرى في مبدأ العلاقات المتبادلة شكلاً موهماً من الغاية وكان ينزاع في

قيمتها وهداها . وطريقة كوفيه ، بحسب رأيه قليلة العقلائية وسطحية ، ولا تتيح الوصول إلا الى الفقرات وتبقى عاجزة عن إدراك المشابهات العميقة في الأعضاء ، والتي يطفى عليها تنوع الأشكال والبنيات . وحده النظر الى الارتباطات يكشف عن حقيقة فلسفة الحالة الحيوانية .

إن مبدأ التواصل أو العلاقة يمكن عالم الاحاث ، الذي يملك قطعاً غير كاملة ، من إعادة تكوين الحيوان الذي تشكل هذه القطع بعض أجزائه ؛ انه مبدأ تركيبى بفضل يمكن أن نعثر على الكائن بأكمله انطلاقاً من عناصره .

وأمام كائن مختلف تماماً عن الكائنات التي نعيش حالياً ، يمكن مبدأ الترابط من معرفة هوية أجزائه المكونة له . من ذلك أنه في عضو أمامي أصابه التغير العميق ، مثل الريشة السابحة في سمكة الأكصور (Ichthyosaure) أو مثل الجناح في طير بتيرو داكثيل ، أو القائمة الامامية في الحصان ، يتيح مبدأ العلاقة التعرف ، سنداً لعلاقات الموقع ، على عظم الفخذ وعمل عظام الساعد ، وعمل عظام السنع (أو مشط اليد) الخ . إنه إذا مبدأ تحليلي .

ويمكن أن نقول أيضاً أن مبدأ العلاقات المتبادلة يعطي الوحدة والانسجام للحيوان بالذات . أما مبدأ الترابط فيعطي الوحدة والانسجام في الفصيلة الحيوانية . وهذا المظهر الاستكمالي بين المدافن ، قد أدركه تماماً غوته الذي كتب يقول :

« إن علماء الطبيعة من أنصار كوفيه وجوفروا يدون لي كجنود بجفرون مطبات أو مطبات مضادة . بعضهم يبحث من الخارج إلى الداخل ، وبعضهم الآخر من الداخل إلى الخارج . وإذا كانوا بارعين فإنهم يلتقون في الأعماق » .

المنظرة بين كوفيه وجوفروا سانت هيلير .- إن التعارض بين كوفيه وجوفروا ظهر الى العلن في المناظرة الشهيرة التي جرت بينهما وجهاً لوجه أمام أكاديمية العلوم سنة 1830 .

وقد كتب الكثير حول هذا الموضوع . ويرى أكثر المؤرخين الحديثين للعلوم ، أن المناظرة كانت نزاعاً بين الجمودية التي يمثلها كوفيه ، المسنود ، كما قيل غالباً من قبل السلطات الرسمية ، وبين التطورية الناشئة التي يمثلها جوفروا . وليس من الممكن تجاهل شهادة التاريخ أكثر من ذلك .

فلنحاول أن نرسم الظروف التي نشأ فيها الجدل : في سنة 1818 قصد جوفروا في كتابه المعنون « الفلسفة التشريعية » البحث ، كما سبق وقبلنا ، عن جواب على السؤال التالي : « هل يمكن رد تكوين الفقرات الى غلط موحد ؟ » . وعثر بالفعل عند الجميع على نفس الوسائل العفوية . ولم تكن وجهة النظر هذه تختلف كثيراً عن نظرة كوفيه ، الذي كتب سنة 1812 يقول :

« استنتجت من كيفية تجمع المقترحات المتعلقة بكل عضو ، أنه يوجد ، بين الحيوانات أربعة أشكال رئيسية ، أولها الشكل المعروف من قبلنا تحت اسم حيوانات فقيرة ، وإن الأشكال الثلاثة الأخرى تشبه تقريباً الشكل الأول بتشاكل تصاميمها المختلفة . واسمها : رخويات ، وحيوانات ذات مفاصل وحيوانات مشعة أو خطوية . . . واستنتجت من هذا الترتيب سهولة كبرى في جعل تنوعات التنظيم محكومة بقواعد عامة » .

ولكن هذه المشاهدات الخارجية ، التي قبل بها على درجات متفاوتة ، كل علماء الطبيعة هل تشمل كل الفروع الأخرى ؟ يؤكد ذلك جوفروا ولا يتردد في مشابهة حلقات الحشرات الحلقية بفقرات الحيوانات الفقرية ، ولكن الحلقات تعيش داخل عامودها الفقري اما في الفقرات فتوجد الحلقات خارجة . وكتب يقول : « إن الحيوانات التي يقال عنها ويعتقد حتى الآن أنها بدون فقرات ، يجب أن تظهر بعد الآن في تصنيفاتنا المتعلقة بالعلوم الطبيعية ضمن الحيوانات الفقرية » . ومثل هذا الاستنتاج قد أثار الانتقادات الحادة من قبل ماجندي بصورة خاصة ، وعلى كل التزم كوفيه الصمت رغم الحاح جوفروا : « هل يريد السيد كوفيه أن يشرح الأمر . . . اني أطلب منه ذلك متفضلاً » هكذا صرح جوفروا . ونصل الى سنة 1830 ، فقدم ميرنكس ولورانس أمام أكاديمية العلوم مذكرة عنوانها : « بعض التأملات حول بنية الرخويات » . وكان الغرض من هذا العمل تبين أن توجيه رخوية رأسية الأرجل ، بشكل ملائم ، يؤدي الى العثور على ترتيب للأعضاء شبيه بترتيب الفقرات . . . واعتمد جوفروا بشكل كامل آراء ميرنكس ولورانس بل تجاوزها فأعلن شمولية قانون وحدة التصميم ، وهاجم كوفيه مباشرة لأنه كتب « إن رأسيات الأرجل لا تعتبر معبراً لأي شيء » ، وانها تعبر عن تصميم خاص بها . ثم أعلن : « ان مثل هذا التأكيد ملغ » ، وانه لا يدل إلا على مرحلة بالية من العلم ، مرحلة كان الهم فيها هو البحث عن الفروقات فقط » . وكان من الصعب على كوفيه الامتناع عن الجواب . ولكن نرى ، من خلال هذا العرض السريع ، فحوى النقاش : حول وحدة تصميم الفقرات والرخويات والمفصليات .

وفي تحليله لأعمال الأكاديمية ، خلال السنة 1830 ، صرح كوفيه بما يلي :

« إن المسألة التي عولجت بشكل خاص تدور حول معرفة ما إذا كان التشابه في التصميم ، الذي يفر الجميع بوجوده بين الحيوانات الفقرية ، يمتد ليشمل الفروع الأخرى ، ثم ، بالنسبة الى الفقرات بالذات ، هل ان هذا التشابه يذهب بعيداً بحيث يمكن تسميته تماثل في التركيب ، أو ، كما قال السيد جوفروا في أول الأمر ، وبكلمات مطلقة : هل تتكرر نفس الأجزاء بصورة لا متناهية ، في نفس الحيوانات » .

وهكذا ، كانت النقطة الرئيسية في نظر كوفيه تدور حول معرفة « هل ان هذا التشابه الذي يفر بوجوده الجميع ، بين الحيوانات الفقرية ، يمتد الى الفروع الأخرى » ويقول آخر هل يوجد أربعة تصاميم بنوية أم لا يوجد الا تصميم واحد ؟

وعندما زعم كوفيه أن هناك أربعة تصاميم ، لا يمكن الاستناد الى ذلك للمقول انه اتخذ موقفاً جودياً تمييزياً ، بل انه يرفض ببساطة هذا التماثل الشامل الذي ليس له ، في ذهنه أي أساس واقعي . وعندما اعتقد جوفروا أن باستطاعته رد كل الكائنات الحية الى تصميم وحيد ، فهو كذلك لم يتحذ موقفاً تطورياً : انه يعود ببساطة الى فكرة سلم الكائنات التي ، بأشكالها المتنوعة ، قد ضللت علماء الطبيعة في القرن الثامن عشر .

III - تأثير فلسفة الطبيعة

بدايات التشريع المقارن في ألمانيا . - إن حركة فلاسفة الطبيعة ، التي كان شيلنغ أحد باعبيها ، كان لها تأثير كبير في ألمانيا ، في بداية القرن التاسع عشر ، على نمو الفكر البيولوجي . وكان غوته أول ممثل لهذه الحركة ، ولكن أوكن وكيلمير Kietmeyer هما اللذان أعطاها أعظم قوتها وبهاها .

وقد ذكرنا عدة مرات أنه يوجد تشابه بين فكر المشرحين الألمان ، وفكر اتيان جوفروا سانت هيلير . وعلى كل يبقى جوفروا على اتصال بالأحداث ، ولا يسعى إلى استنتاج مفهومه العام لتنظيم البنية الحيوانية ، من نمط مثالي مقرر ومقبول بصورة مسبقة .

ولا يتوجب الاعتقاد بأن علماء الطبيعة الألمان قد أهملوا أي اتصال بالرصد والمراقبة . إن غالبيتهم ، إن لم يكونوا جميعاً ، كانت من تلاميذ كوفيه ، أو على الأقل كانت مطبوعة ومتأثرة بأعماله

لا شك أن الفضل يعود إلى كيلمر ، في الفكرة الأولى حول التناظر أو التوازي بين مراحل النمو الفردي ، ومرحلة سلم الكائنات الحية⁽¹⁾ . وقد صاغ هذه الفكرة بشكل فيزيولوجي أساساً ، فأعلن أن النطفة البشرية تعيش في بادئ الأمر حياة إنباتية خالصة ، ثم فيها بعد تعيش عيشة تشبه عيشة الفقرات الدنيا ، فهي تتحرك ولكنها محرومة من الاحساس ، ثم أخيراً تصل إلى مستوى الفقرات العليا التي تتحرك وتحس .

وطور أوكن (1805 و 1809) نفس الفكرة . أثناء تطور الحيوان ، فإنه يمر بكل مراحل المملكة الحيوانية ، بحيث أن الإنسان يشمل بمجمل هذه المملكة .

وعرض ج. ج. ميكل (1811) طويلاً البراهين على التناظر أو الموازنة بين المراحل النطفية ، في الحيوانات العليا ، والمراحل الدائمة في الحيوانات الدنيا . والوقائع التي ذكرها لا تشهد حتماً له بحس مورفولوجي (تشكلي) حاد . من ذلك مثلاً أنه لم يتورع عن تشبيه السخند أو المشيمة بالغلاصم عند الأسماك والرخويات والديدان ، حتى أنه شبه الفلقة بزوائد الغلاصم عند التيتيس أو عند الأرينيكول . وعلى كل حال ، وفي السنوات الأولى من القرن الماضي ، كان قانون التناظر مقبولاً في العلم التشريحي الألماني .

ونظر الآن إلى الدرجة التي وصل إليها العلم الفرنسي حول هذه المسألة .

في حين أن كوفيه قد نهض بحدة ضد هذه المفاهيم كان اتيان جوفروا سانت هيلير قد تقبل تناظراً بين النمو النطفوي والنمو التاريخي للنوع .

(1) في الواقع يمكن رد مثل هذا الصور إلى هارفي (De Motu Cordis, 1628) وكتب يقول: كل حيوان يمر دائماً بنفس المراتب ، ويتكون ، عند مروره ، كما يقال ، بمختلف بنيات السلم الحيواني ، فيكون ، بوضحة ، فدودة ، فجنين ، وهو في كل من هذه المراحل يصل إلى درجة الكمال .

صرح جوفروا يقول أن البرمائي يكون في بادئ الأمر سمكة بشكل شرغوف ، ثم زاحفاً بشكل ضفدع . ولا يمكن أن تؤكد على كل حال أنه اعتبر نمو الحيوان الضفدعي وكأنه اختصار واستجماع لتاريخه . وفي إحدى الحالات الخاصة بدا منسجماً مع نظرية التناظر عندما كتب يقول : « بعد أن تصورت أنه يوجد نفس المقدار من العظام (في جمجمة الانسان) بمقدار ما يوجد من مراكز عظامية مختلفة ، وبعد أن جريت باستمرار هذا النوع من العمل ، تمكنت من تقييم صحة هذه الفكرة : وهي أن الأسماك ، في بداية عمرها ، تكون في نفس الظروف المناسبة لنموها والتي يمر بها الجنين لدى الثدييات ، وتبين أن النظرية لا تحتوي على أي شيء يخالف لهذا الافتراض » .

ولكن كان من الواجب انتظار عمل أ.ر.آ. سر E.R.A. Serres حتى نرى نظرية التناظر تتخذ كل مساراها في فرنسا . ومنذ 1824 أعطاها سر Serres دوراً مهماً في كتابه « التشريح المقارن للدماغ » ثم عرضها بكل تفصيلاتها في كتابه « مختصر التشريح التماسي المطبق على الفيزيولوجيا » (1842) . في هذا الكتاب وجدت العبارة الأخاذة التالية :

« إن العبقرية العضوية البشرية هي تشريح مقارن مرحلي ، كما أن التشريح المقارن بدوره هو الحالة الثابتة والدائمة للعبقرية العضوية عند الإنسان » .

نظرية النموذج المثالي .. إن تيار « فلسفة الطبيعة » سوف يستمر بروزه في علوم البنية العضوية فيلهم الى نظرية جديدة حول البنية الفكرية ، هي نظرية « النموذج المثالي » . وقلنا تسلط الانتباه من قبل علماء التشريح على مسألة مثل « نظرية النموذج المثالي » . ويعود الفضل الأول في الفكرة الى غوته . في سنة 1790 ، استقر غوته في البندقية ، وخلال زهرة قام بها في مقبرة اليهود ، في الليدو ، النطق خادمه جمجمة خروف وقدمها له ، ظاناً أنها جمجمة إنسان . وفجأة خطرت لفوته فكرة أن الوجه يتألف من فقرات . وبطريقة فريدة نوعاً ما ، وفي ظروف عائلية توصل أوكن ، مستوحياً الطروحات الموجهة الواردة في « فلسفة الطبيعة » الى نفس التصور .

كتب يقول : « في آب 1806 ، كنت في رحلة في المارز ، وبينما كنت أسير في غابة ، شاهدت عند قدمي جمجمة ماعز يُضُها الزمن . والتقطتها ، وقلبتها ، ونظرتها بلحظة . وصرخت إنها عمود فقري . ولعت الفكرة كالبرق ، وبعد ذلك عرف الجميع أن الجمجمة هي عمود فقري » .

وهكذا بدا بمجمل الميكل العظيم عند الكائنات الأكثر علواً أنه ليس الا تكراراً للأقسام المماثلة ، بعد تغيرها بشكل أو بآخر . وأصبحت النظرية الفكرية حول الجمجمة شهيرة بسرعة . وتلقى علماء التشريح ذوو الميول الحلولية برضى عقيدة تكشف عن تماثل الأجزاء التي تبدو ذات مظاهر مختلفة ، أما العلماء الذين كانوا ميايلين الى فكرة البساطة والوحدة فقد تقبلوها أيضاً بيسر وسهولة . وفي ألمانيا نشر سيبيكس ، سنة 1815 تحت عنوان « سيفالوجنزيس » (Cephalogenesis) كتاباً مهماً حول الجمجمة ، فككها فيه الى ثلاث فقرات . واعتقد بوجانوس (في كتابه التشريح الاختباري الأوروبي) « أن أناتوم ستودينيس أوروبا (1819) ان بإمكانه إثبات وجود فقرة رابعة . وفي فرنسا ، اعتقد دوميريل في مذكرة قدمها الى أكاديمية العلوم (1808) ، - وهو يقارن بين تنوعات وانخفاضات المنطفة القذالية في السطح الخارجي للفقرات - ، ان الجمجمة ليست إلا فقرة ضخمة . وتبين بلانفيل ، واتيان

جوفروا سانت هيلير هما أيضاً النظرية الفقرية في الجمجمة . وقلما كان هناك صوت معارض غير صوت كوفيه . فقد قبل بوجود نوع من التشابه بين القسم من الرأس الموجود في طرف العمود الفقري ، وبين الفقرات ، لأن وظائفه شبيهة بوظائف الفقرات ، حيث يسمح بمرور الحبل النخاعي الكبير مثلها .

« ولكن كون الرأس يتحرك فوق العمود الفقري بواسطة قطع تشبه القطع التي تشكل العمود بالذات ، لا يعني وجود سبب للمقول بأن الرأس بأكمله يمكن أن يعتبر كفقرة متطورة . ان أي قسم آخر من الرأس لا يمكن أن يتواجد كأثر أو كشوة في أية فقرة » (دروس في التشريح المقارن ، مجلد 2) .

ونجح وشاراوين Owen (1771- 1858) في إعطاء النظرية الفقرية للجمجمة ، وإعطاء مفهوم النموذج المثالي شكلاً علمياً بحق ، إنما مطبوعاً بطابع فلسفة الطبيعة . إن آراءه النظرية ، قد عرضها بشكل رئيسي في كتابه المسمى : « في النموذج الأقدم وفي المماثلات بين الهياكل العظمية الفقارية » (لندن ، 1848) . كتب يقول انه يعارض تلاميذ ديموقريط وأبيقور الذين يفكرون على الشكل التالي :

« إذا كان العالم قد صممه روح أو عقل سابق على الوجود ، أي إذا كان الصانع هو الله ، فإنه من الواجب أن يكون هناك فكرة أو نموذج للكون قبل أن يكون . . . » . وإذا لم نكتشف أية إشارة تدل على وجود نموذج مثالي قديم ، للعالم في أي مكان منه ، فقد استتجوا عدم وجود « أية معرفة أو أي عقل ، قبل بدء العالم ، كسب له » .

وأعلن أوين رأيه ضد هذه المزاعم ، وقال بوجود هذا النموذج القديم . واعتقد أن جسم الفقرات مؤلف من أجزاء متشابهة ، أو فقرات . والرأس يتألف من أربع فقرات : فقرة الأنف ، فقرة الجبين ، فقرة العظام الجدارية ، والفقرة القذالية . وربط الفك الأعلى بفقرة الأنف . وربط الفك الأسفل بفقرة الجبين . وربط الحزام الصدري والأطراف العليا بالفقرة القذالية . وربط الحوض والأطراف السفلى بفقرات الخذع . وفي تنظيم بنية الفقرات ، انتظم كل شيء بالنسبة إلى العمود الفقري : كتب أوين يقول : « إن فكرة النموذج القديم تبدو في الأجسام بأشكال متنوعة ، وعلى سطح كرتنا الأرضية ، وقبل وجود الأنواع الحيوانية التي نراها اليوم تمثل هذا النموذج متطوراً . . . » . لقد تقدمت الطبيعة بخطوات بطيئة وجليلة ، يقودها نور النموذج المثالي وسط خرابث العوالم السابقة منذ الحقبة التي ظهرت فيها فكرة الفقرات تحت انقراض السمكية القديمة ، حتى اللحظة التي بدت فيها هذه الفكرة بلباس الشكل البشري المجيد » .

نضيف انه إذا كانت الطبيعة تستطيع ، في بعض الحالات ، تقديم مظاهر تفسر كيف توصل بعض علماء الطبيعة إلى تصور نظرية النموذج المثالي ، إلا أن الأمر ليس كذلك بالنسبة إلى طبيعة الأزمنة الأولى .

فكرة التماثل . - انها لدهشة دائمة بالنسبة إلى مؤرخ العلوم ، أن يلاحظ ضخامة وسرعة تطور علم التشريح المقارن في النصف الأول من القرن التاسع عشر . لقد شاهدنا ولادة المبادئ الكبرى بين التواصل والترابط بخلاف القليل من السنوات . والمناقشات حول وحدة التصميم وحول النموذج المثالي

القديم مهما كانت خلاصته ، قد أغنت بشكل ضخم معارفنا حول تنظيم بنية الفقرات . وهناك مبدأ آخر يشكل أيضاً وفي الوقت الحاضر أحد الخيوط الموجهة للبحث ، سوف يتضح بذات الوقت الا وهو « فكرة التشابه أو التقارن » .

وهي فكرة محسوسة منذ زمن بعيد . لقد عرف أرسطو وحدة التصميم داخل كل مجموع . واستنتج من ذلك أنه يتوجب وجود ما نسميه اليوم تماثل الأجزاء ، بين عناصر المجموعة . من ذلك أن أعضاء الحصان يمكن أن تقارن بأعضاء غيره من ذوات الأربع ، وعند كل حيوانات نفس الصنف ، إن الأعضاء لا تختلف فيها بينها إلا من حيث الزيادة أو النقص .

وفي القرن السادس عشر أوحى بيلون أيضاً بفكرة التماثل ، عندما وضع جنباً إلى جنب الهيكل العظمي لانسان ، وهيكل طائر ، وأعطى نفس الأسماء للعظام التي بدت له متطابقة . وعكف دوينتون في أوصافه على إثبات وقائع مماثلة . ولكن جو فروا سانت هيلير هو الذي أحس بحق بالتماثل . ويمكن القول أن مثل هذا المفهوم قد شكل أحد الأجزاء الأساسية في فلسفته التشريحية : العضو ذو علاقة ثابتة دوماً من حيث موقعه بالنسبة إلى عضو آخر معين ، وموقعه يتيح دائماً التعرف عليه ، بأي شكل بدا . ويجب أن نشير إن جوفروا يسمي « متشابهة » (وليس متماثلة) الأعضاء ذات الارتباطات الواحدة .

ولم يشار أوين يعود الفضل في التمييز بين الأعضاء المتشابهة والأعضاء المتماثلة ، حيث يعرفها بالشكل التالي : المتشابهة هي الأعضاء ذات الوظيفة الواحدة . أما المتماثلة فهي الأعضاء ذات الارتباطات الواحدة على أن تكون أحياناً ذات شكل مختلف وذات وظائف مختلفة .

ويميز أوين أيضاً بين التماثل الخاص والتماثل العام ، والتماثل السلسلي . فالتماثل الخاص يجمع بين عضوين لهما نفس الارتباطات في حيوانين مختلفين ، وهو يعبر عن وحدة التصميم . أما التماثل العام فيدل على تطابق بين عضو وبين النمط الأصلي : مثاله القول بأن التواء القاعدة في القذال البشري هو جسم الفقرة الأخيرة في الجمجمة ، يعني تقديم مماثلة عامة . وأخيراً هناك تماثل سلسلي بين العناصر التي تشكل سلسلتها الجسم الحيواني . وأخيراً إذا قبلنا بأفكار أوين حول النظرية الفقرية في الجمجمة ، فإننا نوافق على القول بوجود تماثل سلسلي بين الأجسام الفقرية والقاعدة القذلية basioccipital والقاعدة الاسفينية ، الخ

IV - ما قدمه علم الأجنة

في عدة دفعات ، لاحظنا أن تطور المسائل المورفولوجية (المتعلقة بالشكل) قد تأثرت بما قدمته العلوم المجاورة : علم الأجنة في الثلث الثاني من القرن التاسع عشر ، وعلم الاحاث في أيا مان . ويمكن الظن بأن كارل فون باير Karl Von Baer قد أسس حقاً علم الأجنة في كتابه الكبير : « Ueber En- twicklungsgeschichte der Thiere . Beobachtung Und Reflexion » مجلد 1 ، 1828 ، مجلد 2 ، (1837) .

إننا نترك جانباً آراءه حول التطور وحول التخلق المتعاقب (épigenèse) وحول كيفية خلق

الحيوانات ، حتى لا ننظر إلا إلى موقعه تجاه نظرية التوازي . من دراسة طويلة استنتج « ان النمو الفردي في الحيوانات العليا لا يمر بالأشكال الدائمة للحيوانات الدنيا ، وقد وسع فكرته في الأحكام الأربعة التالية والتي نذكرها سنداً الى ل . فياليستون L. Vialleton :

- 1- ان الشيء المشترك بين عدد كبير جداً من الحيوانات ينمو بصورة أكبر في الجنين وبشكل سابق على ما هو خاص ذاتي .
- 2- ينفرع عن المواقع أو الكيفيات الأكثر عمومية شيء ما أقل عمومية ، وهكذا دواليك الى أن ينشأ الشيء الأكثر خصوصية .
- 3- كل جنين في حيوان معين ، بدلاً من أن يمر بالأشكال الأخرى المحددة ، يتميز عن هذه الأشكال .
- 4- في الأساس لا يشبه الجنين في شكل عالم حيواناً آخر ، بل يشبه فقط جنين هذا الأخير .

ويعتبر راتكي (1793-1860) وجهاً آخر يبرزاً في المراحل الأولى من علم الأجنة ، المطبق في مجال علم التشريح المقارن لدى الفقرات . وفي مؤلف نشر سنة 1832 بعنوان « اناتوميش - فيلوزفيس انتر سوشنجن أوبر دن كيمن - ابارات اند دار زنجباين » استعمل سمات التطور لكي يقرر تماثل الأقواس الغلصومية (نسبة الى الغلاصم أو الخياشيم) في سلسلة الفقرات . ودرس فيها ، فيما بعد ، التحولات لدى الفقرات العليا . فقرر وجود تماثل بين الفك الأسفل ، وبين الأقواس الغلصومية ؛ وكان على الدوام متأثراً بأراء فلاسفة الطبيعة ، فاستمر يقول بوجود نوع من التماثل بين الأقواس الغلصومية والأضلاع ، الا أنه لم يتقبل إلا بتحفظ ، النظرية الفقرية حول الجمجمة ، والتي دافع عنها ، بذات البرهة ، جوهانس مولر .

وربما يعود الفضل الى ريشرت Reichert ، في إبراز تطبيقي جريء لعلم الأجنة في مجال التشريح المقارن . وفي سنة 1837 اكتشف التماثل الحقيقي بين عظيماات الأذن الوسطى عند الثدييات ، وبين الطريقة المقابلة لفصل الفك الأسفل عند الزواحف ؛ وتماثل السندان مع العظم المربع ؛ وتماثل الركابة (عظمة في الأذن) مع قسم من القوس الثاني الحشوي . وقد أثبت التطور الحديث في علم الإحاثة وجهات نظر ريشرت . ونحن نمتلك اليوم مستندات إيجابية تتيح تاريخياً تتبع التحولات التي تنبأ بها هذا العالم الجيني الكبير . وظهرت له بحوث حول تطور الفقرات ، تؤكد النظرية الفقرية حول الجمجمة .

انتقاد النظرية الفقرية حول الجمجمة . - سبق وأشرنا إلى مدى معارضة كوفيه للنظرية الفقرية حول الجمجمة . وبعد ظهور هذه النظرية بمظهر المنتصر ، بعد الأعمال الجينية التي قام بها راتكي وريشرت ، وبعد التطور الذي أدخله عليها أوين ، ظلت مجموعة من المعارضين مستمرة في معارضتها ، مع فوغ ومع آغاسيز ، ورياك ، ولكن ت . هوكلبي ضرب الضربة القاضية لهذا التصور ، في مذكرة شهيرة عنوانها : « حول نظرية الجمجمة الفقرية » (1858) .

وبعد أن وضع التصميم الأساسي المشترك بين الجمجمة في كل طبقات الفقرات ، وبأن واحد بخلال النمو الجنيني ، وفي بنية الراشد ، بين أن الجمجمة تبدو ، في المقام الأول ، في حالة

« غشائية » ، ثم في حالة غضروفية ، وإن العناصر العظمية التي تتكون فيها بعد في الأنماط الأكثر قِرباً ، تعرض علاقات أقل قِرباً (أسلوب في التقطيع شبيه بأسلوب تقطيع العمود الفقري) من المراحل الغضروفية السابقة . الواقع أن الجمجمة تتكون قبل ظهور الفقرة بزمان بعيد ، وإذا فهي ليست فرعاً منها . هذه المرة أصبح الانتقاد للنظرية الفقرية حاسماً . وبصورة تدريجية ، وخاصة على أثر أعمال علماء التشريح الألمان ومنهم جيجنبور ، وفورريب وفوربرنجر الخ ، استبدلت بالنظرية التقطيعية .

ونشرت مذكرة هوكسلي قبل سنة كاملة من ظهور مؤلف داروين حول « أصل الأنواع » . أن العقلية الجديدة التي دخلت في دراسة الكائنات الحية لم تكن إلا لتؤثر في بحوث التشريح المقارن .

٧ - التشريح المقارن ووجهة نظر التطور

إنه لحدث ملحوظ ومذكور في أغلب الأحيان ، ألا وهو الدور الضعيف الذي يحتله التشريح المقارن في صياغة نظرية التطور . ومع ذلك من غير المشكوك فيه أن معتقد وحدة التصميم والتركيب مثلاً ، كان يمكن أن يكون نقطة انطلاق - لا لنظرية تحول الأنواع بالتأكيد - بل لتحولات انماط التنظيم أو البنية .

إن كتاب داروين ، والعودة إلى الأفكار اللاماركية لم يشكل تقدماً مباشراً إلى علم التشريح المقارن . ولكنها أوجدت حالة فكرية جديدة ، وإذا كانت المفاهيم التي وضعها علماء الطبيعة من النصف الأول للقرن قد بقيت صالحة ، إلا أنها قد رُيت من منظور مختلف .

رغم أن الاعتبارات التشكيلية لا تحتل فيها إلا مكاناً ضيقاً فإننا نجد في « أصل الأنواع » إعلاناً عن هذا التغير . إن تأثير جوفروا سانت هيلير وأوين ظاهر فيه ، وفي العديد من المقاطع ، يعود داروين إلى تفحص مسائل التشريح المقارن ضمن نفس الخط الذي سلكه جوفروا : كتب يقول : « ليس من الملحوظ جداً أن يد الإنسان المصنوعة لتمسك وتلمس ، ومغلب الخلد المعد لسحب التراب ، وكذلك قائمة الحصان وزعنفة النخس أو خنزير البحر ، وجناح الوطواط ، إن تكون كلها مصممة بنفس التصميم وتحتوي على عظام متشابهة موضوعة في نفس الوضع النسبي ؟ وقد ركز جوفروا سانت هيلير بقوة على الأهمية الكبرى لعلاقات الترابط بين الأعضاء المتماثلة . إن عناصرها التشريحية يمكن أن تختلف إلى ما لا حد له تقريباً من حيث النسبة ومن حيث الشكل . إلا أنها تبقى مع ذلك ضمن نفس الترتيب الثابت » .

وتابع داروين يقول : « ليس من الممكن تفسير هذه الوحدة في التصميم الواضحة ، لدى كل أعضاء الطبقة الواحدة ، بأسباب نفعية أو بواسطة نظرية الأسباب الغائية . وقد اعترف أوين نفسه باستحالة ذلك في كتابه حول « طبيعة الأعضاء » . ولا يمكن التركيز أكثر من ذلك على خلق خاص ذاتي لكل نوع . إن وحدة التصميم هذه لا يمكن أن تفهم حقاً إلا إذا افترضنا أن الحيوانات تتحدّر بعضها من بعض ، واحتفظت طيلة أجيال عديدة ، بالسماوات الأساسية في بنية أجدادها . وتفسير ذلك بسيط سنداً لنظرية انتقاء التعديلات البسيطة والمتتابعة ، باعتبار أن كل تغيير جديد مفيد بشكل من

الأشكال ، للشكل المعدل ، إلا أنه يتناول في أغلب الأحيان أقساماً أخرى من البنية بواسطة التغييرات المناسبة . وفي تغييرات من هذا النوع ، لا يمكن أن يكون فيها ميل قوي لتغيير التصميم الأصل ، ولا أي ميل الى تغيير الأجزاء . . . إذا فرضنا أن أصل كل الثدييات ، وهو ما يمكن أن يسمى « النموذج القديم » ، كانت أطرافه مصنوعة سناً للتصميم العام القائم حالياً ، مهما كان الاستعمال القديم لهذه الأطراف ، فيمكننا أن نتصور ، لأول وهلة المعنى الطبيعي جداً للبنية المسائلة التي كانت عليها الأعضاء أو الأطراف في كل نماذج الطبقة .

وهكذا طابق داروين ، وهو يعود بنوع من الأنواع الى وجهات نظر أوين ، بين النمط التوموذي القديم وبين المولد المشترك ، وقد افترض أن كل تغيير تكيفي يؤدي بالضرورة الى تغييرات مناسبة وضرورية ، في كل الأعضاء الأخرى .

إن المفاهيم التشكلية عند دارون لا تحسب حساباً على الاطلاق ، لحالة العلم في زمنه . وقد بدا أنه قد جهل الأعمال العظيمة التي قامت بها المدرسة الجينية الألمانية (راتكي ، ريشرت) . وإذا كان قد عرف مؤلفات . هوكسلي ، إلا أنه قد استلهم بشكل خاص أوين ، ولم يحجل من التأكيد أن كلمة التحول أو التناسخ ، عند فلاسفة الطبيعة ، يمكن أن تستعمل بمعناها الحرفي .

أترك جانباً الانتقادات التي أثارها نظريته حول التطور ، وأشير هنا الى جوهر الاعتراضات التي وجهت اليه من قبل علماء التشريح ، فيما يتعلق بتصوره لتنظيم البنية الحيوانية . ليس من المشكوك فيه إطلاقاً أن داروين قد كوّن فكرة ناقصة عن مبدأ الترابط ، وأنه فهم نقيض مبدأ ظروف الوجود الذي قال به كوفيه . وقد عرض أ . س . روسل حول هذه المواضيع ملاحظات عميقة . إن صعوبة فهم هذا الترابط في الفرضية الداروينية هي التي حملت فون باير ، ثم كوليكير Kolliker ، على رفض وجهات نظر العالم الطبيعي الانكليزي . وهو يتقبله لامكان التطور ، بدا لها ضرورياً ، وخاصة للأول منها ، انه لا بد من وجود مبدأ منظم للتحولات .

التشريح المقارن والتطور . - نصل الآن الى مفاهيم المشرحين الكبار الذين لم يوافقوا على مفاهيم داروين ، وإن وافقوا أقله على النظرية العامة للتطور ، والذين ، نقلوا الى حقول دراساتهم ، وجهة النظر الجديدة . هناك اسم يسيطر على هذه المرحلة من التشريح المقارن ، هو اسم جيجنبور (1826-1903) .

يعرض في كتابه الكبير « غرندروغ در فرغلشندن أناتومي » الذي نشرت طبعته الثانية سنة 1870 ، مسائل التشريح المقارن في المنظور التطوري . لا شك أنه قد قام في ألمانيا بشكل خاص ، وفي نفس الحقبة تقريباً علماء طبيعويون ، ومنهم هايكل بشكل خاص ، بطورون وجهة نظر مشابهة . إلا أن جيجنبور وحده كان يمتلك معرفة كاملة بهذا العلم ، وضعته في مصاف كوفيه بصورة مباشرة .

وعلى كل ، إن الأفضلية التي منحها هذا العالم لمعطيات موقع الأعضاء بالنسبة الى دورها الفيزيولوجي ، تقربه من جوفروا سانت هيلير :

« إن التشريح المقارن يمكننا من ترتيب الأعضاء ترتيباً تسلسلياً . وداخل هذه السلاسل نجد

نوعاً طفيفاً في بعض الأحيان ومهماً في البعض الآخر . هذا التنوع يصيب اتساع وعدد ، وشكل ، ونسيج أقسام العضو ، وقد يؤدي بالتالي ، انما بدرجة خفيفة جداً الى تغييرات في الموقع أو المكان .

لقد أول جينبور التماثل وكأنه نتيجة الوراثة . والفروقات الملحوظة بين الأعضاء التماثلة تعزى الى التكيف .

كتب يقول : « إن نظرية التطور تدل على أن ما كان يسمى في السابق بالتصميم النبوي أو بالنموذج ، هو مجمل ترتيبات التنظيم الحيواني المنقولة بفعل الوراثة . في حين أن هذه النظرية تفسر التغيرات الطارئة على هذه الترتيبات باعتبارها حالات تكيفية . إن الوراثة والتكيف هما بالتالي العاملان المهمان اللذان يفسران الوحدة والتنوع في تنظيم البنية » (غرندزوج در فرغليشندين أناتومي ص 71) . من أجل فهم الترابطات ، لا بد من تأمل الوظائف ، وكذلك أيضاً العلاقات الوظيفية الموجودة بين الجسم الحي والوسط أو البيئة . ونحن هنا أمام أفكار كوفيه ، حرفياً تقريباً ولكن « الغاية الأساسية من التشريح المقارن هي العثور على مؤشرات الترابط الخلقي الفطري في التنظيم الحيواني » ، وفكرة التماثل هي الخيط الموصل في مثل هذا البحث . وهذه الفكرة هي التي تشكل المبدأ الأساسي في التشريح المقارن التطوري :

« في التماثل ، الدقيق نوعاً ما ، لدينا التعبير عن درجة ، شبيهة نوعاً ما في القرى . هذه القرى تصبح مشكوكاً بها تماماً بنسبة ما تعتمد البراهين على التماثل » .

ولا يمكن المبالغة في الإشارة الى أهمية عمل جينبور . إن هذا العمل يدخل تماماً ضمن التيار الكبير الذي نشأ بفضل كوفيه وجوفروا . إن هذا العمل يطيل ، في مجال مختلف ، عمل المدرسة الجينية الألمانية ؛ وهو يفتح الطريق أمام سلسلة من الأعمال القت الضوء البراق على علم التنظيم ، وأهم هذه الأعمال قام بها فوريرنجر وغوب Gaupp الخ .

التشريح المقارن والنسالة أو علم تكون الانسال وتطورها . - نحاول الآن توضيح أفكار المشرحين في القرن الماضي ، فيما يتعلق بمسألة علم الانسال الذي عالجه ببراعة جينبور .

نشير في بادئ الأمر ، مع أ.س. روسل ، الى القرى الوثيقة الفكرية بين المشرحين التطوريين وبين مدرسة جوفروا والتجاوزيين الألمان Transcendentalistes .

إن مبدأ الترابطات يبقى الخيط الموصل في العمل التشكلي ؛ لقد استمر تخيل النماذج المثالية الأصلية ، وإن بشكل مختلف قليلاً . وأصبح قانون التوازي أو التناظر ، قانون الاستجماع في علم النسالة بواسطة علم تطور الكائن (أونتوجيني ontogénie) ، ورسم نظام التصنيف الطبيعي ، الشجرة الوراثية العائلية للعالم الحي . وساد نفس الميل عند هؤلاء وأولئك ، من أجل تقبل الحلول البسيطة ؛ أما مسار الفكر فلم يختلف كثيراً ، هذا المسار الذي حل جوفروا على اعتبار رأسيات الأرجل وكأنها بنيت بنفس التصميم الذي بنيت عليه الفقريات ، وهو الذي حمل سمير ودوهرن Dohrn على اشتقاق الأخيرة من الأولى .

وبين وجهة النظر الوظيفية التي قال بها كوفيه ووجهة النظر الشكلية التي قال بها جوفروا سانت

هيلر، اختار المشرعون في أواخر القرن التاسع عشر وجهة نظر الثاني ، مما أدى الى مقتضيات تطويرية فريدة وغريبة. ولأننا نجد في كل مكان نفس العناصر، بنفس العدد، وبفس الارتباطات، لم تخلق الطبيعة شيئاً. ولا أى سمة أصلية حقاً لم تظهر بخلاف تحول الكائنات. إن مبدأ التماثل هو في الأساس مبدأ خاطئ انه يفسر عضواً ما بمهاماته بعضو آخر . وهذه هي الفكرة التي صاغها هوبرشت Hubrecht ، سنة 1887 في دراسة رمى من ورائها الى إقامة رابط خلقي نشأوي بين الفقرات والنمرينات (Némerites) : « في نقطة انطلاق التأمالات الموجودة في هذا الفصل تركّز القناعة التي ألح عليها داروين بشدة ، من أن الأعضاء الجديدة لا يمكن أن تظهر بفعل الانتقال الطبيعي ، صالم تكن هذه الأعضاء قد سبقت بأعضاء أخرى ، تفرعت منها بصورة تدريجية ، بعمل تغيير بيئي » .

وأكد دوهرن Dohrn أيضاً أن الطبيعة تستخدم أعضاء قديمة بدلاً من أن تخلق أعضاء جديدة . مثلاً قال باشتقاق الشقوق الغلصومية من الأعضاء المنقطعة ، وباشتقاق الزعانف من الغلاصم، الخ . بدلاً من أن يفترض أن هذه الأعضاء قد أمكن تكونها بشكل مستقل . وشبه فكرة « التشكل الجديد » بالخلق الملتبس (generatio equivoca) . وقد رفضت بمجملها إمكانية الخلق الحياتية . ومن المدهش يومئذ أن نلاحظ أن إدخال فكرة المدة في التطور قد أشار الى الصفة الإبداعية وقرب هذا التيار الجديد من فكر كوفي ، الذي يرى أن الطبيعة قادرة على الخلق ، في حالات الاحتياج الجديدة ، أي على خلق أعضاء جديدة .



هذه النظرة السريعة الى تاريخ علم التشريح المقارن في مجال الفقرات ، في القرن التاسع عشر ، يدل على أن غالبية الأفكار الأساسية قد وضعت في النصف الأول من القرن . وأعطى كوفي الأهمية الأولية للموظيفة ، في حين أن جو فروا والتجاوزين الألمان انشأوا علماً تشكيمياً خالصاً . وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، احتفظ التشريحيون من أنصار نظرية التطور ، بنفس المفاهيم ، بعد نقلها : من نطاق منطقي انتقلوا الى مرتبة التخليق (genèse) أي التوليد . والحقيقة الحالية التي ندرسها في المجلد اللاحق تتميز بصورة رئيسية بشارك وثيق بين علم الاحاث وعلم التشريح ، مما يتيح إقامة علم جديد حقيقي يبحث في التنظيم أو البنية .

الفصل الثاني

الاحاثة والفقریات

I - كوفیه وولادة علم الإحاثة في الفقریات

« حاولت في هذا الكتاب أن أجتاز طريقاً لم تكن قد قطعت منه حتى الآن إلا بضع خطوات ، ثم اني حاولت أن أعرف بنوع من الآثار بقيت دائماً مهملة . وبحكم اني بالغ أنتيكه من نوع جديد ، توجب علي أن أتلمع تفحص وإحياء هذه الآثار والمتنقيات ؛ كما توجب علي أن أتعرف وإن أقرب ، وفقاً للترتيب الأولي ، بين الأجزاء المبعثرة التي تتألف منها هذه الآثار ؛ ثم إعادة بناء الكائنات القديمة التي منها هذه الأجزاء ؛ ثم استحداثها من جديد بأبعادها وسماتها ؛ ثم مقارنتها أخيراً بأولئك الذين يعيشون اليوم على سطح الكرة الأرضية : انه فن شبه مجهول تقريباً . . . » .

بهذه الجملة افتتح جورج كوفيه « الخطاب التمهيدي حول البحوث المتعلقة بالعظام المحجرة » حيث أرمى المؤلف أسس علم الإحاثة عند الفقریات .

ولكن أي عمل مهما كانت أصلاته يرتبط دائماً بقنوات مباشرة الى حد ما بالأعمال التي سبقتها ، ومن أجل إدراك المجلوب الجديد ، من اللازم وضع هذا العمل ضمن التسلسل التاريخي الذي يشكل العمل إحدى حلقاته .

علم الفقریات المتحجرة قبل كوفيه . - إذ كان الناس ، منذ العصور القديمة قد لاحظوا وجود مجموعات من الأصداف محفوظة عند مسافات بعيدة ، وإذا كان برنار باليسي Palissy ، وليونار دا فنشي قد صرحا بأن هذه الأصداف قد وضعها في الماضي ، البحر في الأماكن التي وجدت فيها يومئذ ، فإن بقايا الفقریات قد اجتذبت الانتباه بصورة أقل . وعلى كل ، إن عظام الحفروميات المتحجرة التي جعلتها جثتها منظورة بسهولة ، ولدت ، حتى بخلال القرن السابع عشر وبداية القرن الثامن عشر ، جملة من الأساطير ومن المعتقدات الموروثة حول عرق مزعوم من العمالقة كانت ، في الأزمنة الأولى ، قد أهلت الأرض .

وكان يوفون أحد الأوائل الذين ألهموا بأن هذه المتحجرات كانت أجسام كائنات زالت ، دون أن يكون لها مثيل دقيق في العالم الحالي .

« إن العظام المتحجرة العجيبة التي عثر عليها في سيبيريا وكندا وإيرلندا وفي العديد من الأماكن الأخرى ، تبدو وكأنها تثبت هذا الافتراض ، إذ حتى الآن لم يعرف حيوان يمكن أن تنسب إليه هذه العظام التي ، في معظمها ، هي ذات ضخامة وذات كبر تفوق المقاييس » .

ولكن يوفون اكتفى بهذه التأملات العامة حول الكائنات الزائلة . جاء يوفون باكراً وكان ينقصه نجدة علم التشريح المقارن الذي لم يكن قد وجد بعد .

ومع ذلك فقد استشعر ، بفضل نور عبقريته فقط - بحسب تعبير فلورانس - المصائر العظيمة التي تنتظر علم الإحاثة ، في المجلد الرابع من كتابه « التاريخ الطبيعى للمعادن » الذي صدر قبل سنة من موته كتب يقول :

« إن هذا العمل حول الطبيعة القديمة يتطلب وحده من الوقت أكثر مما بقي لي من الحياة ، ولا أستطيع إلا أن أوصي به الأجيال الآتية . . . وإني بأسف أترك هذه الأشياء المهمة ، هذه الآثار الثمينة عن الطبيعة القديمة التي تمنعني شيخوختي من تفحصها بما يكفي من أجل استخلاص النتائج التي أترقب . وسوف يأتي آخرون بعدي يستطيعون التوقع . . . » .

إن تاريخاً ، حول بدايات علم الإحاثة المتعلق بالفقرات ، قد سكت عن اسم كامبر وبالاس ، يكون تاريخاً عبر كامل . لقد نبه بالاس العلماء إلى القيلة وإلى « وحيدات القرن » المغطاة بالصوف والمحجوزة في جبال الجليد في سيبيريا ؛ وفي سنة 1787 أصدر كامبر رأياً مفاده أن بعض الأنواع قد دمرتها الثورات في الكرة الأرضية . وقد أسند هذا الرأي إلى وقائع إيجابية . ولكن كوفيه هو الذي ثبت علم المتحجرات بحق من حيث منهجه ، وهو الذي أوضحه من حيث غاياته .

الإنجاز الاحاثي الذي حققه جورج كوفيه . - إن قسماً كبيراً من نشاط كوفيه العلمي قد كرس لعلم الاحاث . وفي أول « بلوفيز Pluviose من السنة الرابعة من الثورة الفرنسية » قرأ كوفيه أمام « المعهد الوطني » أول مذكرة حول أنواع القيلة للمتحجرة ، المقارنة بالأنواع الحية ، ثم سرعان ما اتبع هذه المذكرة بسلسلة من الدراسات نشرت في « نشرة الجمعية الفيلوماتيكية » ، و« المخزن الموسوعي » و« حوليات المتحف » . وفي سنة 1812 ظهرت الطبعة الأولى من « بحوث حول العظام المتحجرة حيث تم إثبات سمات العديد من الحيوانات التي دمرت أنواعها الثورات الأرضية » ، وهو كتاب لم يكن إلا جمعاً للأعمال السابقة التي وضعها المؤلف . ونشرت بين 1821 و1824 طبعة ثانية مزينة بوقائع جديدة ومعدلة من حيث تصميمها . وهناك طبعة ثالثة تعود إلى سنة 1825 ، لا تختلف عن السابقة إلا ببعض تعديلات أضيفت إلى « الخطاب التمهيدي » الشهير ، والذي طبع كثيراً ، وعلى حدة تحت عنوان « خطاب حول ثورات سطح الكرة الأرضية وحول التغيرات التي أحدثتها هذه الثورات في المملكة الحيوانية » .

« كتب يقول: إذا نحن بدلنا المهمة في تتبع طفولة نوعنا ، وما فيها من آثار شبه زائلة ، لدى

الكثير من الأمم البائدة ، كيف لا نبذل الهمة أيضاً في البحث في ظلمات طفولة الأرض ، عن آثار الثورات السابقة لوجود كل الأمم ؟ إننا نعجب بالقوة التي استطاع الفكر البشري من خلالها أن يقيس حركات العوالم التي قد سبقتها الطبيعة وإلى الأبد من تحت أنظارنا . . . ألا يوجد أيضاً بعض المجد للإنسان في معرفة تخطي حدود الزمن ، ثم استعادة تاريخ هذا العالم ، بواسطة المراقبة والرصد ، ثم تتبع تسلسل الأحداث التي سبقت ولادة النوع البشري ؟ .

وهكذا توضح الغاية المتبعة ، في الوقت الذي تحدد فيه علم الكائنات الزائلة ، بكل أبعاده .

أهمية الثدييات . - لم يكن كوفيه يحلم بالقيام بدراسة كل المتحجرات . فأمام ضخامة تنوع انتاج الطبيعة كان لا بد له من القيام بالاختيار . وتوقف على دراسة عظام ذوات الأربع (ونسبها اليوم بالثدييات) باعتبارها مؤهلة أكثر من غيرها للوصول إلى نتائج دقيقة من أجل وضع نظرية حول الأرض .

إن ظهور الأرميات كحيوانات ترابية ، في طبقة ما ، يدل على أن هذه الطبقة كانت في الماضي قد خرجت من تحت المياه ؛ وبواسطة هذه الأرميات يمكننا أن نعرف وإن نعيد تكوين تنقلات البحار . فضلاً عن ذلك ، إن الأرميات الأرضية كانت الموضع الذي أصابه ثورات الكرة الأرضية بصورة مباشرة وحالية . ومن خلالها أخيراً يمكن تتبع هذا الأثر بوضوح وبما أن عددها محدود ، وغالبية أنواعها معروفة تماماً ، فإن من السهل نسبياً التأكد من نسبة العظام المتحجرة إلى أي نوع منها ، إنها تتأني من نوع مفقود . « لأن أكبر عتبة يمكن تخطيطها نحو استكمال نظرية الأرض تكمن في إثبات أن هذه الحيوانات التي عثرنا على بقاياها المنتشرة في كل بقاع العالم ، لم تعد موجودة اليوم » .

وكان لا بد من أن نكون مؤهلين لمعرفة ، وبدقة ، الحيوان من خلال قسم من عظم يعود إليه ، وهذا فن كان لا بد من خلقه يوم بدأ كوفيه بحوثه .

إن التشريح المقارن الذي قام كوفيه باستكماله ، قدم له المبدأ الضروري لهذا التحديد أو الاستكمال : إنه مبدأ العلاقة المتبادلة بين الأشكال .

مبدأ التعلق . - نحن لا نتناول هنا إلا الخلاصات . من شكل الأسنان مثلاً يمكن استخلاص شكل اللقمة (أي التواء المفصلي في طرف العظم) ، وشكل الأطراف وشكل الجهاز الهضمي .

وهذا الاستنتاج الدقيق ، إن لم يكن صائباً دائماً ، فهو قد أتاح لكوفيه التعرف ، في أغلب الأحيان ، على حيوان ما بواسطة جزء من عظمه . إننا نعرف القصة التي ذكرها بنفسه حول اكتشاف «ثنائي رحم Didelphe» في الجبسي في منطقة مونتمارتر: ودراسة الأسنان بينت له تشابه هذا المتحجر مع «السايفغات» ومع «الداسيرات Dasyures» ، فلم يعد يشك ، قبل أن يرى الحوض ، أنه يحمل عظام جرابيات (رتبة في الحيوانات الثديية) . ويحضر بعض الأصدقاء أمر بحفر الحجر لكي يبرز الحوض ، والعظام الجرابية ، المتوقعة بموجب النظرية ، قد اكتشفت فعلاً . (بحوث حول العظام المتحجرة . . . مجلد 3 ص 292) .

مثل هذه التطبيقات لمبدأ التعلق ، وهذه الاعادة لتكوين حيوان بأكمله من خلال بعض

أقسامه ، كان من شأنها إثارة الدهشة والعجب ، وقد عبر بلزك في صفحة بليغة عن هذا الإعجاب فقال :

«... إن عالمنا الخالد قد أعاد بناء الأكوان بواسطة عظام مكلسة ، وكما فعل قدموس ، لقد أعاد تعمير المدن من خلال الأسنان ، وأعاد تأهيل آلاف الغابات بكل عجائب المملكة الحيوانية ، بواسطة بعض بقايا الفحم الحجري ، وعثر من جديد على شعوب من العمالقة من خلال رجل ماموت ... لقد أحيا العدم ... ونقب في قسيمة من الجبس ، فوجد فيها بصمة فصرخ انظروا ! وفجأة تحيرون الرخام ويعثت الحياة في الموت ، وكر الكون !» (بلزك ، جلد الحزن) .

جدول بالنتائج العامة للبحوث حول العظام المتحجرة .-

أ) أنواع المتحجرات المقارنة بالأنواع الحية .- إن أول غاية من بحوث كوفيه كانت مقارنة الأنواع المتحجرة بالأنواع الموجودة حالياً . ولم يقتصر المؤلف على تتبع الترتيب الحيواني أو الجيولوجي : إنه يعرض اكتشافاته ضمن الترتيب الذي حدثت فيه . درس في بادئ الأمر ما سماه « سميكات الجلود » وهي مجموعة جزئت اليوم إلى : خرطوميات وإلى مفردات الأصابع وإلى مزدوجات الأصابع ؛ ثم إلى المجترات وإلى المفترسة وإلى القاضمة وإلى عديمات الأسنان (أنرميات) . وإما المجلد الأخير من المؤلف فمخصص للزحافات .

إني أدون بعض التفصيلات فقط البحوث حول ثدييات الجبس في مونتمارتر . إن عظامها المتحجرة تبدو مختلطة وملتبسة . وعلى مثل هذا النموذج يمكننا أن ندرِك بصورة أفضل قوة ومنطق الأسلوب أو الطريقة (بحوث حول العظام المتحجرة ... مجلد 3 ، ص 1-151) .

إن أول شيء يجب القيام به في دراسة حيوان متحجر - يقول كوفيه - هو التعرف على شكل أسنانه الطاحنة (الأضراس) ؛ ونحدد ، من خلال هذا ، هل هو عشي أم مفترس ، ويمكن أحياناً ، التأكد من نوعية فصيلته . في محافر الجبس في مونتمارتر ، كانت الأسنان الأكثر عدداً هي أسنان آكلات العشب ؛ وبعد أن رتب كوفيه « وجبات » الأسنان كاملة ، لاحظ أنها تنقسم إلى نوعين مختلفين - أحدها مزود بآنياب بارزة ، والآخر مزود بآنياب لا تتجاوز مستوى الأسنان الأخرى . فسمى الصنف الأول باسم « بالاتييريوم » (Palaeotherium) وأطلق على الثاني اسم « أنوبلوتييريوم » (Anoplotherium) .

وشرع كوفيه بعد ذلك في تصور شكل الرؤوس . وسرعان ما تبين أن هناك نوعين . وكانت هناك أجزاء من جماجم ما تزال تحتفظ ببعض الأسنان ، مما أتاح المطابقة بين عظمين من الرؤوس وبين شكلين من « وجبات » الأسنان .

وأخيراً كان لا بد من إعادة تكوين الأرجل . ففي الأرجل الخلفية يمكن تمييز نوعين ، إما من حيث عدد الأصابع وإما من حيث شكل عظم الكاحل . فبعض الأرجل لها ثلاثة أصابع أما الكعب فذو وجه رسغي مسطح ، وضلع تكميبي ضيق كما هو الحال في حيوانات التابير (حيوان شبيه بالخنزير) ، ووحيد القرن ، والخيول ؛ أما الأرجل الأخرى فلها أصبعان ، والكاحل ذو وجه رسغي

بشكل بكرة مقسومة الى عتقين بواسطة سن بارز ، كما هو الحال في الخنازير وفرس النهر .

وهناك أيضاً نوعان من الأرجل الأمامية ، منها ما هو ذو ثلاث أصابع ومنها ما هو ذو أصبعين . واستعان كوفيه بقوانين التشابه ونسب القامة فجمع الأرجل الخلفية ذات الأصابع الثلاث مع الأرجل الأمامية ذات الأصابع الثلاث . وجمع الأرجل الخلفية ذات الأصبعين مع الأمامية ذات الإصبعين . وبقي بعدها يربط كل رجل بالرأس المناسب له ، وربط كل رأس بنظام أسنانه .

إن رأس البالييتريوم يشبه تماماً رأس التابير والرجل الخلفية ذات الأصابع الثلاث هي أيضاً شبيهة برجل التابير ، « حتى إن أياً من علماء الطبيعة ، المعتاد على المشابهات ، لا يستطيع الامتناع عن القول حالاً أن هذه الرجل مصنوعة لهذا الرأس وإن هذا الرأس لهذه الرجل » (بحوث حول العظام المتحجرة . . . مجلد 3 ص 243) .

إن الأرجل ذات الأصبعين تختص بحيوانات « أنوليتريوم » وكل نجاس حيواني يؤكد على هذا التخصص . وقد لاقى كوفيه التعب في إنهاء هذا العمل البعثي الذي جاء اكتشاف هيكل عظمي كامل ، في حفرة بانتن (Pantin) ، يؤيد استنتاجاته .

وبنفس الطريقة ، أعاد إحياء عدد من الأنواع الزائلة ، وقرر أن كل نوع متحجر - باستثناء كل الشواذات ، (وخاصة عند الثيران والخيول) - هو نوع مفقود .

ب) علاقة الأنواع المتحجرة بطبقات الأرض .- إن الغرض الثاني من بحوث كوفيه في نظره ، وهو الغرض الأساسي ، كان ربط العلاقة في دراسة المتحجرات بنظرية الأرض ثم معرفة الطبقة التي نعت فيها على كل نوع ، ثم التثبت من وضع بعض القوانين العامة المتعلقة بهذا التوزيع .

وقصر بحثه على الفقرات من ذوات الأربع فلاحظ أن البيضيات قد ظهرت قبل البولوديات بزمان طويل ، وإنها أقوى ، وإنها أكثر تنوعاً في الطبقات القديمة مما هي عليه فوق السطح الحالي للكرة . ولما كانت الرخويات غير موجودة في حقبة تكون الطبقات الأولى ، ويمكن الظن أن ذوات الأربع البيضية قد ظهرت هي والأسماك بذات الوقت . إن ذوات الأربع البيضية لم تأت إلا بعد ذلك بزمان طويل ، أي عندما ترسبت طبقات الكلس الأولى التي تحتوي على صدفيات شبيهة جداً بالصدفيات التي تعيش في الوقت الحاضر .

وهكذا غطت أشكال متنوعة ومتعددة ، بصورة متوالية الجزء من الكرة الأرضية الذي يقع تحت متناول أيدينا . وهناك ثلاثة أنواع أو أشكال تميز بشكل واضح . النوع الأول ويشمل الأسماك والزواحف الضخمة . ولم يكن يضم إلا بعض الثدييات الصغيرة . أما النوع الثاني فقد تميز بوجود « بالانيريوم » ووجود « أنوليتريوم » ، وقد قدم جيبس باريس بقاياها الأولى . وبدأت الثدييات الأرضية يومتد سيطر . ويضم النوع الثالث الماموث والماستودون وفرس النهر ووحيد القرن .

وحتى ذلك الحين لم يعثر على بقايا إنسان متحجر . واستعرض كوفيه كل العظام المتحجرة والمعتبرة عظاماً ، ولم يجد صعوبة في إثبات زعمه . إن « الإنسان الطوقاني الصديني » (L'Homo diluvii testis) الذي تناوله شوشيزر Scheuchzer هو عظمة عملاقة (سالامندر) . وفي كنيستاد عثر تحت

الأرض على جزء من فك ، ولكن الحفريات تمت بدون احتراس . وفي كل مكان آخر كانت العظام المظنون أنها بشرية عظماً لبعض الحيوانات .
 « كل شيء يحمل على الظن أن النوع البشري لم يكن موجوداً في البلدان التي اكتشفت فيها العظام المتحجرة ، في زمن الثورات التي طمرت هذه العظام » (خطاب حول ثورات الكون ص 68) .

وهكذا أمكن تحديد حقبة رابعة وأخيرة سوف تكون عصر الانسان وعصر الأنواع المدجنة .

علم الاحياء ومسألة تحول الأنواع . - يحدث غالباً ، عندما يراد الحكم على موقف كوفي بالنسبة الى التغييرية ، ان نواجه فيه بالتتابع الحالية التي حققها العلم . ولا شيء يناقض الأسلوب التاريخي مثل هذا الموقف : « قال مونتسكيو : ان نقل كل أفكار القرن الذي نعيش فيه الى القرون القديمة ، هو مصدر خطأ ، وخطأ فاضح جداً » (روح القوانين ، 30 ، 14) .

ويتوجب علينا إذاً ان نضع أنفسنا ضمن الجو الفكري الآتي ، ثم معالجة النظريات التي حاربها كوفي ، بشكلها ويومها اللذين كانا لها يومئذ .

في بداية القرن التاسع عشر كان موضوع تحول الأنواع قد طرح من قبل عالين طبيعيين متفauين في المعرفة : مايه Maillet ، الذي يقع انجازه في منتصف القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2) ولامارك الذي كان معاصراً لكوفي .

كان مايه يرى أن كل حي جاء من البحر : « ليس من المعقول على الأقل الإيمان بذلك بعد التيقن من أن كل الأراضي المأهولة ، قد خرجت في الأصل من المياه ؟ » . ولیدعم وجهات نظره قدم مايه ملاحظات مذهشة تبين ، في الحقبة التي كتب فيها ، أن العلوم الطبيعية لم تتخلص بعد من مجال الغرائب والغموض . وبدا من الطبيعي أن لا يتوقف كوفي لمناقشة مثل هذه النظرية حول تحول الأنواع . ثم انه من الممكن التساؤل حول جدية مايه في عمله ، بالمقدار الذي يمنحه اياها بعض مؤرخي العلوم ، وهو الذي قدم كتابه الى « سيرانودي بروجراك الشهير » .

إن أفكار لامارك حول التغييرات التي تصيب الأنواع ، بدت في أعين علماء الطبيعة في القرن التاسع عشر ، وكأنها توسيع بسيط (ممزوج بعلم أكثر لنظام مايه . ونحن قلنا تأخذ من عمل لامارك في الوقت الحاضر إلا « الفلسفة الزولوجية » ؛ ولكن معاصريه كانوا يقرأون كتبه الأخرى وخاصة « علم المائيات » (هيدرولوجي) . وقد مضى زمن طويل على الفكرة القائلة أنه « بواسطة التجارب الدقيقة ، المدروسة والمتتالية يمكن إجبار الطبيعة على كشف سرها » ، وان « كل السبل الأخرى لم تنجح على الإطلاق » (1) . ان لامارك ، بدون تجريب ، قد استطاع خلق كيمياء لم يخش أن يواجه بها كيمياء لافوازيه Lavoisier (راجع كوفي ، Cuvier ، مدح تاريخي للامارك ، 1832) .

وفي مجال علوم الحياة ، قال كما قال مايه أن « كل شيء كان سائلاً في البداية » وان السائل ولّد

(1) هذه المتفطانت أخذت من « مقدمة بوفون » لترجمة كتاب « إحصاء النباتات » الذي وضعه هالس Hales ونشر سنة 1735 .

الحيوانات البسيطة، في بادى الأمر، أمثال السوطيات وغيرها من الأنواع النفاعية (التي تعيش في المستنقعات) والميكروسكوبية؛ وانه بفعل الزمن، وبعمل اكتساب العادات المتنوعة، تعقدت اجناس الحيوانات وتنوعت تنوعاً كالذي نراه الآن»⁽¹⁾.

هكذا لخص كوفيه العقيدة اللاماركية وبعدها نفهم بصورة أفضل الحكم الذي أصدره على لامارك، فصفه بين أولئك العلماء الذين «مزجوا الاكتشافات الحقة التي أغنت معارفنا، بمفاهيم غريبة عجيبة»، والذين أقاموا بآثان «عمارات واسعة على قواعد خيالية».

في نظر كوفيه يجب أن تضاف النظرية البيولوجية عند لامارك، ضمن نفس السلم وضمن نفس النسيان، الى نظريته في الكيمياء، ولنفس السبب: إنها ثمرة الخيال فقط وليست وليدة الرصد والتجريب.

«بمعزل عن كل استدلال زائف بالتفصيلات، انها تركز على افتراضين كيفيين: الأول أن البخار المنوي هو الذي يكون النطفة؛ والآخر هو أن الأمانى والرغبات والجهود قد تولد الأعضاء. إن نظاماً يرتكز على مثل هذه الأسس، قد يرضي خيال شاعر؛ والعالم الميتافيزيكي يمكنه أن يستخلص منه جيلاً آخر من الأنظمة والمذاهب. ولكن هذا النظام لا يمكنه أن يتصدى، ولو للحظة لفحص من قام بشرح يد أو أمعاء، أو شرح ريشة» (كوفيه المدح التاريخي للامارك).

ما هو إذاً موقف كوفيه من مسألة تبدل الأنواع؟. لقد رأى بوضوح أن المسألة تطرح وقد صاغها بعبارات واضحة تماماً فقال:

«قد يقال لي لماذا لا تكون الأعراق الحالية تغييراً لهذه الأعراق القديمة التي نجدها بين المتحجرات، تغييرات ربما تكون قد حدثت بفعل الظروف المحلية الاقليمية وبفعل تغير المناخ، ووصلت الى هذا الفارق الكبير بفعل تطاول السنين؟» (خطاب حول ثورات الكون... ص 58).

يقول وهو يستعيد حجة سبق وأدلى بها بوفون: على هذا يمكن أن نجيب بأن الأنواع قد تغيرت تدريجياً، ويجب أن نجد أثراً لهذا التغير. فبين حيوانات «البالانيريوم» وحيوانات الماستودون (أشياء الفيلة) وبين هذه الأخيرة وبين الحيوانات المعاصرة يجب العثور على الحيوانات الوسيطة، وهذا ما لم يحصل حتى الآن. وحتى لو كانت الأنواع القديمة غير ثابتة، فالثورات العديدة التي كان عالمنا مسرحاً لها لم تكن لتترك لها الوقت الكافي لتتحول تلقائياً. (نفس المرجع ص 58-64).

وهكذا يدلنا تفحص الطبيعة الماضية على ثبوتية الأنواع. وتأمل الطبيعة الحاضرة بقودنا الى نفس الاستنتاج. وهذا لا يقلل من صحة القول بأن الحياة قد عرضت عبر العصور الجيولوجية مظاهر متنوعة، وان الحيوانات المختلفة قد تعاقبت على سطح الكرة الأرضية.

(1) «خطاب حول ثورات الكرة الأرضية...» ص 23. ويمكن عرض، ونعرض بالتاكيد بشكل مختلف، نظام لامارك. ولكن في الدراسة التي نحن بصددنا الآن ليس المهم معرفة كيف بقراءه في الوقت الحاضر، «قراءة تتأثر بكل حركة الأفكار التي حصلت في الفترة التي تفصل وقته عن وقتنا»، ولكن كيف كان معاصروه يقرأونه، وشكل خاص مناقضة كوفيه. ولهذا اعتقدنا أنه من الواجب أن نورد حرفياً خلاصة عقيدته كما قدمها كوفيه.

وخلال حقبة طويلة لم تقبل الا ظاهرتان فقط في تاريخ الحياة هما ظاهرة الخلق وظاهرة الطوفان . إن الحالة الرائعة للعالم هي نتيجة لتغير حدث للوواقع القديم بفعل الطوفان .

هذه الوحدة في زمن الخلق تبدو وكأنها كانت مقبولة من قبل بوفون في نظريته حول الأرض : « ... بمعزل عن شهادة الكتب المقدسة - هكذا قدم - الا يوجد سبب للاعتقاد بأن كل أنواع الحيوانات والنباتات هي تقريباً قديمة سواء بسواء ؟ » ثم في تنمة عمله يبدو وكأنه قد تحول عن هذا الرأي : « إن وجود الأسماك والقشريات قد سبق بزمن بعيد وجود الحيوانات الأرضية » ، كتب ذلك في « تاريخ المعادن » وصرح في « أزمة الطبيعة » : « ان الانسان قد خلق في الأخير » .

حول هذه المسألة الكبيرة تبقى فكرة كوفيه غامضة أنه لا يقبل ، بعكس ما يقال عموماً ، نظرية الخلق المتتالي : « وأخيراً ، عندما أزعج بأن المقاعد الصخرية تحتوي عظاماً من عدة أنواع ، وأن الطبقات الصخرية السهلة التفتت تحتوي أنواعاً عدة لم تعد موجودة ، فأنا لا أزعج ضرورة وجود خلق جديد لاحداث الأنواع الموجودة اليوم . أقول فقط انها لم تكن موجودة في الأمكة حيث نراها حالياً ، وانها جاءت من مكان آخر » (خطاب حول ثورات الكون ص 64) .

إن تتالي الحيوانات - وهو أمر أكد عليه كوفيه - يقتصر بنظره على بعض القارات التي - على أثر ثورات الكون الكبرى - أعادت تأهيل الكرة ، بفعل الهجرات ، انطلاقاً من مصدر مشترك ، ذي موقع مجهول ، حيث تتواجد الأنواع التي نسميها متحجرات والأنواع التي ما تزال حية . إن الحيوانات الحالية ليست إذاً إلا تصفية ففيرة من الماضي (ج. روستان في كتابه : « رسمية لتاريخ البيولوجيا » ، باريس 1945 ، ص 127) ، وقد أعطى فيه مثل هذا التفسير للنص الذي أورده كوفيه .

ويبدو أن كوفيه قد فهم الانسان من خلال وحدة الخلق :

« كل شيء يجعلنا على الاعتقاد أن النوع البشري لم يكن موحوداً على الاطلاق في البلدان التي اكتشفت فيها العظام المتحجرة ، في الزمن الذي قامت الثورات فيه لتطمر هذه العظام ؛ ... ولكني لا أريد أن أستنتج أن الانسان لم يكن موجوداً على الاطلاق قبل هذه الحقبة . وربما سكن بعض المناطق القليلة الاتساع ، ومنها انطلق لياهل الأرض بعد هذه الأحداث الرهيبية ، وربما أيضاً ، كانت الأمكنة ، حيث كان يسكن ، قد غمرت بكاملها بالمياه ، ودفنت معها العظام ، في أعماق البحار الحالية ، باستثناء العدد القليل من الأفراد الذين حافظوا على استمرارية النوع » (خطاب حول ثورات الكون ص 64) .

حول هذه النقطة يبدو علم كوفيه متأخراً عن علم بوفون .

ومنذ عصر كوفيه جاءت النظرية التطورية تعدل بعمق على وجهات نظر عالم الاحاث حول علم المتحجرات . هل يتوجب بعد هذا اعتبار عمله عملاً باطلاً ؟

عندما نبحث في وضع نظام طبيعي ، وفي عرض جدول بالعلاقات المنطقية بين الأجناس . نجد

أن كوفيه قد حصل على نتائج تدخل بدون جهد في بعد تغييره تحولي .

وهو حين قاوم مبالغات فلاسفة الطبيعة وتلاميذهم ، قدم لمجال علم الاحالة الناشئ المعنى ، والاهتمام بالدقة ، وهما أمران جعلتا التطورات اللاحقة ممكنة ؛ وهو يكشف عن العوالم الزائلة ، قد كبر بغير حدود مجال الحياة . إن الطرق التي ابتكرها ، هي على الأقل ، في روحها ، الطرق التي نستعملها اليوم ، ورغم أنه استخلص ، من غياب الأشكال الوسيطة المؤقت ، استنتاجات مطلقة ، لم يتأخر المستقبل في دحضها فقد فتح ، باقتراحه البحث عنها ، سبيلاً خصباً تماماً .

II - العمل الاحائي الذي قام به جوفروا سانت هيلير

إن العمل الوصفي الذي قام به جوفروا سانت هيلير في علم الاحالة عند الفقرات بسيط للغاية ، فقد درس بنية بعض فصائل التماسيح في جوراسيك نورمانديا [فرنسا] . وقام بوصف بقايا الثدييات المحلوبة من الأحواض الثلاثة في أوفرنيا (Auvergne) ، وعُرف بالسيفاتريوم (Sivatherium) وهو حيوان مجترٌ عثر عليه في الأراضي من العصر البليوسيني [وهو الحقبة الأخيرة من العصر الثالثي] في الهمالايا .

ولكن اسمه يجب أن يحفظ رغم كل شيء في تاريخ علم الاحالة ، لأن أفكاره حول الأشكال المتحجرة قد احتلت بالتأكيد مكانة مهمة في وجهات نظره حول تحولية الأنواع .

ومنذ بداية مهمته طرحت هذه المسألة نفسها على تفكيره ، والأصح أنه هو وكوفيه قد طرحاها بالشكل التالي في عمل مشترك: كتباً يقولان: «ألا يتوجب أن نرى، فيما نسميه الأنواع، الأجيال المتنوعة لنمط واحد؟» هنا نلمس تأثير يوفون الذي تتوافق تبدلته مع تنوع يتوافق لا مع التقدم بل مع التفهق .

ويبدو جوفروا وكأنه قد غابت عنه تماماً هذه المسألة في بحوثه التشريفية الفلسفية ، لأنه لم يؤول ، على الإطلاق ، وحدة التصميم وكأنها نتيجة سلالة واحدة . ثم انه ، في بحوثه الأولى حول أنواع التماسيح المتحجرة (1828) ، يسأله إذا كانت الأنواع الحالية لم تتحد من أنواع بائدة .

ولكنه يصرح في الحال : « ولكن الفكرة المعاكسة تخطر بالبال بشكل طبيعي أكثر ، وإلا فإن أيام الخلق الستة كان يجب أن تتكرر ، وأن نشأ كائنات جديدة بفعل عملية خلق جديدة . إن مثل هذا الحكم ، المناقض لأقدم الأعراف التاريخية ، غير مقبول » (مذكرات الميزيوم « المنصف » في القانون الطبيعي ، مجلد 12) .

إن مذكرة نشرت سنة 1831 بعنوان « درجة تأثير العالم المجاور في تحويل وتغيير الأشكال الحيوانية » ، سوف تحدث تعديلاً حقيقياً في فكر جوفروا . فهو في محاولته تأسيس علم للأشكال (مورفولوجيا) ، عكف فقط على دراسة المشابهات ، المتبيرة من جانبه وكأنها الطريقة الوحيدة الفلسفية بحق . ولكنه اعتبر أن الغاية النهائية لعلم تنظيم البنية لا تكمن هنا حالياً .

ونحقق تقدم جديد بفعل دراسة الفروقات ، المعتبرة لا كعوارض في التنظيم ، أو كوسيلة لتصنيف الكائنات ، والتمييز فيما بينها ، بل كنقطة انطلاق في كيفية فهم وتعريف علاقاتها . إذ هناك ، بحسب تمييز جوفروا تقريباً ، مبدأ أول في السببية به تتحكم المادة العضوية وفقاً لحطة واحدة ؛ ثم هناك مبدأ ثانٍ في السببية بموجبه ينحرف كل كائن عن الحطة الأصلية .

واننا نجد في تنوع الوسط المحيط « أسباب هذه السببية الثانية » . إذ في الواقع ، يتغير الوسط المحيط ويتبدل ، فيحدث تعكيراً أو اضطراباً في النمو الطبيعي للجسم الحي .

ويجدر أن نوضح ، في المقام الأول من « المحفزات الحيوية » ، الظاهرة التنفسية . إذ إن عن طريق التنفس « تتحقق شروط وظروف التكون المنظم » . ليكن مقبولاً أن المجرى البطيء والمتالي للقرون يحدث على التوالي تغييرات في نسب مختلف عناصر الفضاء . وتنتج عن ذلك نتيجة ضرورية حتى وهي أن التنظيم قد أصابها واختبرها بما يناسب .

إن المفعول البطيء للزمن يجعل الخراب في شكل الأجسام الحية عميقاً ودائماً .

وهكذا « كانت للأرض حيوانات في أعمارها المتنوعة ، فكانت في بادئ الأمر حيوانات الحقبة الأولى المسماة « السابقة على الطوفان » ثم حيوانات الأراضي الشالنية ، وأخيراً تالتت حيوانات « الزوولوجيا الحالية [أي مجموعة الحيوانات الحالية] » .

وظن جوفروا أن هذه التغييرات لم تجر بشكل غير محسوس فقال :

« بالتأكيد أنه ليس بتغير غير محسوس قد توصلت الأغاط الدنيا من الحيوانات البيضية الى درجة عالية من التنظيم ، وكذلك مجموعة الطيور . فقد كفى حصول حادث ممكن ، وقليل الضخامة في مشته ، إنما عظيم الأهمية جداً في مفاعيله (حادث طرأ لإحدى الزحافات ، وهو أمر ليس من شأني أبداً أن أحاول حتى وصفه) ، حتى تتفاعل في كل أجزاء الجسم شروط النمط الطيري » .

ربما يمكننا أن نرى في جوفروا ، كما يظن ر. برتيلوت Berthelot ، ملهم التغييرية التجريبية

III - بدايات علم الاحاث في أميركا

في الوقت الذي تطور فيه علم إحاثة الفقريات ، في فرنسا ، بتأثير من كوفيه Cuvier . أخذ هذا العلم ينشأ أيضاً في أميركا الشمالية ، إنما بشكل خجول . إن أمكن القول - لا يدل أبداً على أنه سوف ينمو فيها بعد . لقد أقصر على جهود المهواة بشكل خاص ، وكان باعثه حب المدهش والغريب ، وهو حب كان في الماضي قد لاقى الكثير من الانتشار في أوروبا .

ومع ذلك ، فإنه في أميركا الشمالية يوجد واحد من أقدم الشهود على بحث عن الفقريات المتحجرة . إذ يبدو أن القبائل الهندية [الهندو الحمر] قد استعملتها « كعلاجات » . كما كانت الصيدلانة الصينية تستعمل « أنياب التنين » ، ويمكن الظن أن أقدم بقايا الفقريات المحفوظة اليوم في مطلق « متحف » هي أسنان عثر عليها بين سنة 700 وسنة 900 ، وإن الإحاثي كوب Cope عزا ،

سنة 1874 ، الفناكودس (Le Phenacodus) الى ثديي من العصر الثالثي .

وكما كان الحال في أوروبا ، ان الفضول والحشرية قد أيقظا ، باكتشاف عظام ذات أحجام كبيرة ، عزيت في بادئ الأمر الى العمالقة ، ثم الى حيوان يشبه الفيل . ومنذ سنة 1762 شبه دوبنتون Daubenton ، عظم فخذ « الماستودونت » الأميركي بعظم فخذ الماموث السيبيري . والفيل الحالي ، وهو تشبيه عاد اليه ، في سنة 1768 ، هنتر Hunter ، فيما يتعلق بالفكوك السمل ، فبين أن « الخرطومسي » (Probosciden) في أميركا الشمالية يشكل نوعاً خاصاً ، ربما كان قد انقرض .

وهناك اسمان مسيطران في بدايات « إحاتة » الفقریات في أميركا الشمالية وهما : س . ويستار C. Wistar وت . جيفرسون T. Jefferson .

كان ويستار (1761- 1818) استاذ تشرح بشري في جامعة بنسلفانيا ؛ وكان أول مؤلف لكتاب مفصل وموسع في التشرح نشر في أميركا . وقد أصدر ، سنة 1799 ، حول الـ «ميجالونيكس» Megalonix الذي عثر عليه في ميرجيبيا ، دراسة «نموذحا في الحذر ، وفي الوصف العلمي الدقيق ، وفي الاستقراء» (سمبسون Simpson) . ولم يكن يمتلك الا أجزاء من أعضاء ، ومع ذلك استخلص منها استنتاجات جد صحيحة حول نوعية حياة الحيوان ، وأوضح بدقة ميوله حين بين وجود بعض التشابه بين رجل الميجالونيكس ورجل « البارسو » (Paresseux) كما عرفه من خلال وصف دوبنتون .

كان جيفرسون (1743- 1826) ، رئيساً لجمهورية أميركا ، وكان أول من عرف ، في سنة 1797 ، بهذا الثديي العديم الألياب ، ذي المخالب القوية ، فسماه لهذا السبب «ميجالونيكس» . واعتقد أنه أمام أكبر وأضخم حيوان « ذي ظفر في كل أصبع » (وقدر وزنه بما يعادل 893 ليرة [اللبيرة 500 غرام تقريبا) . استنتج من ذلك أنه ربما كان عدو الماموث (أي الماستودون أو الحيوان المتحجر الموجود في أوهايو Ohio) (نذكر أنه في آخر القرن الثامن عشر يقع تأسيس متحف الإحاتة في فيلادلفيا بفضل بيل Peale) .

وصف ر . هارلان R. Harlan (1796- 1843) ، وليس بدون خطأ ما ، عدداً من الفقریات المتحجرة ، وحرص ، مثل كوفيه في أوروبا ، على تحديد تسلسل وتراتب مجموعة الحيوانات . وهناك أسماء مختلفة تستحق الذكر في هذه الحقبة التي سبقت التطور الضخم الذي أصاب علم الإحاتة بالنسبة الى الفقریات في أميركا الشمالية : هتشكوك Hitchcock (1793- 1864) ، وهو مؤلف دراسة حول آثار الفقریات المتحجرة ؛ ثم بدفيلد Bedfield (1789- 1857) واليه يعود الفضل في بحوث حول أسماك « ترياس » (Trias) ، الخ

وهناك أسماء تستحق الذكر في أميركا الجنوبية . ويمكن أن نرى في ما نشره بدرو سيزا دي ليون (Pedro Cieza de Leon) في « صحيفة البيرو » (Cronical del Peru) (1553) أقدم نص يتعلق بالفقریات المتحجرة . وفيها يتكلم المؤلف عن عظام العمالقة . مثل هذا الرأي موجود في عدة مذكرات تعود الى آخر القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر ، والامامج بسلالة من العمالقة

كانوا قد سكنوا في الماضي أميركا الجنوبية كان ما يزال حياً في أواخر القرن الثامن عشر . إيمان لم ينل الإجماع كما تدل عليه هذه الأسطر من جوان دي فيلاسكو Juan de Velasco الذي قام سنة 1789 « الجاحدين وخاصة الفلاسفة ، الذين لم يستطيعوا إنكار الوجود الفعلي لجثث العمالقة الأميركيين ، ولكنهم أرادوا ، رغم الحقيقة الواضحة ، تعميدها بأساء ضخمة مثل «هيوبوتام» ، وفيل وماموث » (ذكره هوفستتر Hoffsteter في النديبات من الحقبة الأولى من العصر الرابع في جمهورية الاكوادور ، 1952) .

IV - علم الإحاثة بين كوفيه وداروين

بين الحقبة التي كانت فيها اكتشافات كوفيه مسيطرة بحدّة على العقول والحقبة التي سوف تعطى فيها « نظرية التطور » لعلم المتحجرات قفزة جديدة ، تمتد حقبة هي بالتأكيد أقل إشراقاً ، ولكنها موسومة مع ذلك بتقديم مهم .

بالنسبة الى فرنسا ، يجب ، في البداية ذكر هـ. دوكروتي دي بلانفيل Ducrotay de Blainville الذي كان عالماً تشريحياً بشكل خاص . لقد قام بوصف بعض الأنواع الزائلة من الثدييات ، وهو الذي أعطى علم المتحجرات اسم « البالياتولوجيا » .

بدأ إدوار لارت E. Lartet (1801- 1871) بعلم الإحاثة من خلال بحونه فوق جبل ساسان ، وهو مكنم غني خاصة بالثدييات المتنوعة . ودراساته فوق ساسان وكذلك فوق مكنم كائن عند سفح جبال البيرنه (سان غورنس) كشفت عدة أنماط مهمة ، من بينها يجدر هنا ذكر « البليزيتك » Pliopitèque ، أول قرد متحجر تم اكتشافه وهو يذكّرنا بالقرد جيبون Gibbon المعاصر ؛ وأعلن الدريويتك ، وهو قرد كبير بصورة إنسان ، عن الغوريلا وعن الشمينزي . ونحن مدينون أيضاً للارت Lartet ، بأعمال مهمة حول « الخرطوميات » المتحجرة ، وحول هجرات حيوانات العصر الرابع ، الخ . وكان لارت من الأوائل الذين اهتموا « بالإنسان المتحجر » . وعمله حول المحطة البشرية في أورنيك Aurignac جعلت منه في هذا المجال ، مرجعاً من الدرجة الأولى . فقد قسم الأزمنة الرباعية الى أربع مراحل : عصر « الدب الكبير » ، عصر الماموث ، عصر الرنة ، وعصر الأرخص Auroch . وبالتعاون مع الانكليزي كريسي ، نشر عن الأزمنة السابقة على التاريخ مؤلفاً بقي غير مكتمل «Reliquiae aquitanicae» . ويمكن القول أن لارت قد أضاف الى علم الإحاثة البحث عن أصل البشرية .

ونستطيع أن نذكر أيضاً هنا بـ. جرفي P Gervais (1816- 1879) الذي عُرِف ، في كتابيه « علم الحيوان والإحاثة الفرنسية » (ط 2 ، 1859) وه علم الحيوان والإحاثة العامة » (1867- 1869) ، من خلال أوصاف واضحة ودقيقة ، بعدد كبير من الفقرات . .

وفي انكلترا ، كان ر. أوين R. Owen ، الذي أشرنا الى دوره المؤثر في تطور علم التشريح المقارن ، أيضاً ، عالماً إحيائياً كبيراً . ونحن مدينون له ببعض الدراسات حول الأسماك من العصر الأول ، وحول مجموعة البرمائيات العظمية الرأس . ولكن أعماله المهمة حول الزحافات ، وقد بدأ

بها سنة 1839 ، واستكملها طيلة نصف قرن ، هي التي كومت شهرته كاملاً إحتاي . فقد بين أن الزحافات البحرية من العصر الثاني والمصنفة من قبل كوينبير تحت اسم « إيناليوسوريا » شكلت سلكين خاصين : « الايكتينوتريجيا » و « السوروتريجيا » . وأعطى وصفاً «لسلحفيات» الجوراسيك الأعلى في انكلترا وقدم عدة مذكرات حول « التمساحيات » المتحجرة في انكلترا ، وحول « الديناصوريات » وحول « الصوريات المجنحة » .

وكان ، بشكل خاص ، أحد الأوائل الذين عرّفوا بالزحافات المسماة « تيرومورف » في افريقيا الجنوبية ، مبنياً مشابقتها الوثيقة للتدييات . وخصص أيضاً أعمالاً مهمة للتدييات الأوروبية من العصر الثاني وللحيوانات التي انقرضت حديثاً في أستراليا (طيور وتدييات) .

في ألمانيا ، استكشف كوب Kaup مناجم Eppelsheim التي قدمت بقايا « الدينوتريوم » العملاق ، في حين نشر هـ. فون ماير H. Von Meyer أبحاثاً مهمة حول الزحافات ، وأشار ، سنة 1861 ، الى واحد من المتحجرات الأكثر إثارة التي كشفها لنا علم الإحاثة وهو : « الاركوپتريكس » (Archaeopteryx) في الجوراسيك الأعلى في بافاريا ، وهو متحجر يعتبر نقلة بين الزواحف والطيور .

في أميركا الشمالية ، عرّف ليدي Leidy وهو مشرح ممتاز ، بالعديد من الأشكال الجديدة في التدييات الثالثة ، وأبرز الروابط التي تجمع حيوانات أوروبا وأميركا . ونشر ل. أغاسيز L. Agassiz (1807-1873) من أصل سويسري ، مقيم في الولايات المتحدة ، مؤلفاً أساسياً حول الأسماك المتحجرة (بحوث حول الأسماك المتحجرة ، خمس مجلدات ، مقياس 4 مع أطالس ، 1833-1843) وفيه وصف ورسوم لكل العيّنات المهمة المعروفة يومئذ . وفي كتاب آخر : « أبحاث حول أسماك الصلصال الأحمر القديم » ، استبق بشكل ما هذا التطور الملحوظ الرائع في الدراسات حول الفقرات الدنيا ، وهو تطور تميزت به الإحاثة الحديثة .

وفي أميركا الجنوبية ، يعتبر الحدث الأساسي الجديد بالذكر البدء بالحفريات المنهية . فقام ودل Weddell ، في سنة 1845 ، بأبحاث في بوليفيا ، مبرزاً العديد من عظام تدييات القسم الأخير من العصر الرابع Pleistocènes التي ما يزال بعضها محفوظاً في باريس في متحف التاريخ الطبيعي .

٧ - إحاثة التدييات بعد داروين Darwin

رغم أن داروين ، في كتابه « أصل الأنواع » قد تكلم قليلاً عن الحيوانات المتحجرة ، إلا أنه ربما أثر تأثيراً سريعاً وحاداً على علماء الإحاثة . وصف البرت غودري Albert Gaudry الانطباع الذي تحصل له عند قراءة هذا الكتاب بما يلي :

« قرأت الكتاب « حول أصل الأنواع » بإعجاب بالغ ؛ وإذا جاز لي أن أستمع مثل هذا التعبير ، فإني أقول أنني تذوقته بتمهل ، كما شرب ، بجرعات صغيرة مشروباً لذيذاً ؛ وقد عثرت على جملة من الملاحظات والأفكار تتوافق مع ما استطعت التوصل إليه حول تسلسل الكائنات في العصور الماضية » .

إنطلاقاً من هذه اللحظة سوف تطبع نظرية « التطور » بطابعها كل أعمال الإحاثية .

في فرنسا : إنجازات البرت غودري . - يقال في أغلب الأحيان ان عمل كوفيه ، نظراً لسمته الإيجابية الخالصة ، المرتبطة بالوقائع ، الحذرة من التعميم ، قد أعادت نهضة العلم الإحاثي . والحقيقة ان مثل هذا التأكيد لم يكن أبداً من فعل عالم إحاثي ، وسوف نرى بالضبط أنه في الطريق الذي فتحه كوفيه Cuvier ، تطور في فرنسا علم الإحاثية التطوري .

قلنا أن كوفيه قد رفض فرضية تحول الأنواع ، لأن الطبيعة التحجرية لم تكشف له عن أنماط وسيطة . وبعد وفاته ، إنجته تطور البحوث الإحاثية - وهو يكثر من هذه اللحظات التي فيها تبدو لنا بعض الأشكال وكأنها تصل إلى « الأرض » - ليرتكز على مسألة التطور .

وهكذا تساءل البرت غودري (1827-1908) هل الأنواع التي تماقت كانت موضوع خلق مستقل ، أم أنها كانت قد تحدرت بعضها من البعض الآخر بفعل تغيرات بطيئة . وقد صرح ، بأن أنصار فرضية ثبوتية الأنواع ، يجب أن يقبلوا - من أجل تفسير ظهور « ثبوتية الأنواع » - بخلق ماهيت جامدة خلقاً يحصل بشكل عفوي إلى حد ما ، أو أيضاً : إن نطفاً بقيت بحالة الكمون منذ نشأة الأشياء ، دب فيها الحياة فجأة . ويحلل أنصار فرضية تناسل الأنواع كما يلي : نحن لا نفهم هذه الثدييات التي تظهر في حالة الرشد بكامل وبرها وعيونها وأذنها ، وكلها استعداد للحركة والاعتداء ؛ ونفهمها بصورة أقل أيضاً وهي تخرج من البذرة تقضي الحقبة الجنينية خارج الرحم . والتفسيرات الأكثر بساطة يجب دائماً تفضيلها ، وعلى هذا الأساس فإن فرضية التحولات هي الأكثر قبولاً .

وهناك برهان وضعي يدعم هذا الأسلوب في الرؤية : إن البحوث الإحاثية تكثر أو تبدو وكأنها تكثر هذه الأشكال الوسيطة التي لم يستطع كوفيه ان يلحظ وجودها ؛ والاعتراض الرئيسي على فرضية التناسل يكون بالتالي قد ارتفع . ان الفراغات ، في السلاسل الحيوانية ، أخذت تمثل بصورة تدريجية ، وهكذا ، اضطر الإحاثيون من النصف الثاني من القرن الأخير إلى القبول بنظرية تناسل الأنواع باعتبارها التفسير الوحيد العقلاني للملاحظات الموجودة بين كائنات الطبيعة الماضية وكائنات لطبيعة القائمة .

تلك هي الآراء التي وسعها غودري في كتابه الكبير حول « الحيوانات المتحجرة في أتيكا » (1862) ، ثم عاد إليها في كتاب « تسلسل عالم الحيوان » (ثلاثة مجلدات ، 1878-1890) ، وفي كتاب « تجربة في الإحاثية الفلسفية » (1896) ، وهي قد ألهمت كل بحوثه .

ولكن كل هذه الأعمال كانت محكومة بالرغبة في البحث عن الأشكال الوسيطة وبيانات التسلسل . إن الإحاثي التطوري ، مهما بدا ذلك غريباً ، ورغم أنه أخذ عن داروين فكرة التطور ، قد سار في الطريق التي رسمها كوفيه . وبقيت هذه الطريق مدموعة بمفهوم موروث عن القرن الثامن عشر ، مفهوم سلم الكائنات . وإذا كان من غير الممكن ، بعد ذلك ، وبالتأكيد ، ترتيب كل الأنماط الحية ضمن نفس الخط ، ابتداءً من الأشكال الدنيا في المملكة النباتية ، ثم الارتقاء حتى «الإنسان» ، إلا أن فكرة التتابع الدائم ، هي التي كانت تراود أفكار الإحاثيين ، ولكن السمة التاريخية في الحياة -

التي كان يمكن بسهولة استخراجها ، على ما يبدو ، من عمل كوفيه - لم تظهر بوضوح حتى ذلك الحين .

وظل تأثير جوفروا سانت هيلير أيضاً ظاهراً . وكما عند هذا الأخير ، نجد عند غودري Gaudry ما يمكننا أن نسميه استحواذ الوحدة . كتب يقول : « ان البحث عن الوحدة لا يُتعب أبداً ، انه يتجاوب مع ميل لا يقاوم في النفس » . ويميز غودري بالتالي ، بين مرحلتين في تاريخ الإحاثة : الأولى تتميز بالبحث عن الفروقات ، إذ توجب ، في بادئ الأمر ، تبين أن الكائنات المتحجرة هي ليست مماثلة للكائنات الحية ، وانها ، في كل حقبة جيولوجية ، برزت بمظهر خاص . ولكن « يوجد في الطبيعة شيء أكثر فخامة من التنوع الظاهر في الأشكال ، والوحدة هي التي تربط بينها » ؛ والبحث عن المشابهات يجب أن يكون في النهاية موضوع العلم .

في مثل هذا المفهوم ، لا يُجَدُّ التطور سمات أصيلة عميقة ، وإذا كان غودري قد افترض أن التطور يمكن أن يكون خالفاً للحددة ، فإنه قد عبّر عن ذلك بكلمات تدل على أنه لم يكن يعتبر هذه الجدة مهمة جداً .

« من المؤكد أن سمات جديدة قد حدثت حتى من وقت الى آخر ، وإلا لما أمكن تفسير كيفية تغير الحيوانات وتبدلها ، بدلاً من أن تدور ضمن نفس الدائرة . ما أريد قوله ، هو أنه في أغلب الأحيان ، وبين أنواع الحقب المتتالية ، تكون الفوارق صغيرة جداً وتكون المشابهات كبيرة جداً ، الى درجة يتوجب معها - من أجل رسم الحدود بينها - التمسك بتفصيلات طفيفة » .

في سويسرا : عمل روتيمير (Rütimeyer) - في الوقت الذي بدأ فيه غودري في فرنسا القيام بأعماله المشهورة ، كان الاحاثي السويسري ل. روتيمير (1825- 1895) يعالج إحاثة الفقرات بصورة أصيلة خاصة ، مفتتحاً العرف الرائع الذي استمر حتى أيامنا في متحف التاريخ الطبيعي في بال Bâle .

ومنهجه في تحديد عمر الاسنان (أودونتوغرافيا : odontographie «Beiträge zur Kenntniss der fossilen Pferde und zu einer vergleichenden odontographie der Huftiere im Allgemeinen. verh. natur. Ges. Basel, 1863») كان نقطة الانطلاق في البحوث حول التسنين ، وهو أمر مهم في مجال إحاثة الثدييات ، وبذات الوقت ، قدم هذا المنهج محاولة في مجال التطور النوعي (Phylogénie) عند الخيول . كان روتيمير من الأوائل الذين أخذوا ، انطلاقاً من التحجرات ، يعالجون مسائل البيئة الجغرافية . وقد أصدر فرضية مركزية التشتت فيها خصص الحيوانات الثديية : مركز شمالي ومركز جنوبي ، وقد اقترح اقامة مُوازات بين حيوانات الحقبة الإيوسينية (Eocène) الوسطى في الإيجركينج Egerkingen وحيوانات الجبال الصخرية [الولايات المتحدة] . وإذا كانت محاولته قد بدت غير صحيحة ، إلا أنها ساهمت في حل الاحاثين على المقارنة بين حيوانات القارات .

وهناك قسم أصيل جداً في عمل روتيمير هو درسة لثدييات في عصور الباليات [المساكن المقامة في المياه من أيام العصر الحجري الجديد والعصر البرونزي] ، أي في العصر الحجري الجديد ، حيث

عالم مسألة تدجين الحيوانات (Die fauna der Pfahlbauten in Schweiz). ويمكن القول أن كل المؤلفين الذين اتبعوا هذا الخط في البحوث قد استقوا من هذا المصدر .

في ألمانيا : مُوسّع ك. فون زيتل K. Von Zittel - إن التقدم المستمر في الإحاثية بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر يقضي بإبراز المعارف المكتسبة . إنها مهمة شاقة تلك التي قام بها كارل فون زيتل (1839-1904) ؛ كان استاذاً في جامعة ميونخ ، ونشر ، بين سنة 1876 و1893 ، كتابه « موجز في علم الإحاثية » الذي جدد وأكمل كتاب بيكتت Pictet . إن مثل هذا الكتاب ليس عملاً تجميعياً على الإطلاق ، بل هو مراجعة انتقادية ، تركز على معرفة مباشرة بالعائلات وبالأصناف . وكان للعمل وقع عميق واستخدم كنموذج لكل الكتب اللاحقة . والمجلدان المخصصان للفقرات راعان بشكل ملحوظ . وليس أفضل من أن نذكر هنا الحكم المَجَاز الذي كتبه ش. ديبريه (Ch. Depéret) بشأنه :

« لم تكن فقط ، كل الأنواع المتحجرة ، الموصوفة حتى الآن ، من قبل الاحاثيين ، من كل البلدان ، موضوع تحديد وموضوع تشخيص جديدين ؛ بل ، أيضاً ، تم درس كل مجموعة كبرى في علاقاتها التنظيمية (الخَلْقِيَّة) التشريحية والزيولوجية ، مع الأشكال الصورية التمثيلية في العالم الحاضر ، بشكل يعطي لكل نمط متحجر المكانة المعقولة التي نلتمه ضمن تصنيف عام لسلسلة الكائنات . . . »

وبعد نهاية دراسة كل مجموعة ، يعود زيتل فيرسم تاريخ المجموعة ، ومنشأها في الزمن ، وتطورها عبر العصور الجيولوجية ، وعلاقاتها الخَلْقِيَّة مع الفروع المجاورة .

إن روح المؤلف مطبوعة بأفكار تطويرية ، وبالنسبة الى زيتل ، ان هدف الاحاثية هو إعادة تركيب تاريخ الحياة .

وهو ، فضلاً عن ذلك ، يناهض بعض التعميمات المتسارعة ويرفض استعمال الطريقة النشوية في الخلق (ontogénie) في بناء الشجرات العائلية النسبية : لو كان علم الأجنة قادراً حقاً على إعطائنا الأسلاف المتحجرة لكل مجموعة ، لتوجب أن نعرّض على بقاياها في الطبقات الجيولوجية . ولكن الواقع ليس هذا على الإطلاق . وبشكل أعم ، يمكن التأكيد ، (يقول زيتل) ، على السمة الواهنة في شجرات الأنساب المقررة والموضوعة ، ولذا أطلق دعوة الى الحذر والوعي ، بوجه تهوّر وتسرع بعض الاحاثيين في عصره ، فكتب يقول :

« إن نظرية التناسل قد أدخلت أفكاراً جديدة في التاريخ الطبيعي الوصفى وخصصت له هدفاً أكثر نبلاً . إنما يجب أن لا ننسى أنها مجرد نظرية ، تحتاج الى إثبات . وقد حاولت أن 'يُبين' ماهية البراهين القليلة التي قدمتها البحوث الاحاثية لها . إنما يجب أن لا أخفي أيضاً الثغرات الكبرى في تبييناتنا . ان المعلم يهدف قبل كل شيء الى الحقيقة . كلما ازدادت قناعتنا بوجه قاعدة معارفنا النظرية ، كلما تزايد واجبنا من أجل تمهيتها بوقائع ومراقبة جديدة » (الفيلوجيني « التطور النوعي » والاونوجيني « تطور الكائن » والمنهجية . ذكره ش. ديبريه Ch. Depéret) .

في انكلترا : ت. هوكسلي (Th. Huxley) . - كان توماس هوكسلي أحد أشهر مذهبى أفكار

داروين . وقد ذكرت عدة مرات مناظرته مع رئيس أساقفة كتربري ، وقد تغلب ، في أكثر الأحيان على زميله الأكبر منه سناً أوين Owen ، وهو خصم علني لنظرية التطور .

لم يكن هوكسلي إحيائياً حقاً . ولكن مفاهيمه حول علوم الحياة ، كان لها تأثير ضخم على تطور علم الإحالة . فقد طبق قوانين التطور على تصنيف الفقرات ، وبين الفروقات الموجودة بين الأنماط الأولى الدائمة الباقية وبين الأنماط المتخصصة . وقد حاول ، انطلاقاً من الفقرات ، إقامة تركيبات إحيائية جغرافية (Paléogéographiques) .

ورغم أننا لا نقدم هنا تاريخ علم الإحالة البشرية ، إلا أننا لا نستطيع إغفال كتابه الشهير «مكانة الإنسان في الطبيعة» (1863) (ترجمة فرنسية . مكانة الإنسان في الطبيعة ، 1868) . وفيه ، ولأول مرة ، توضيح ، بحسب المنظور الدارويني ، علاقات «الإنسان» مع الموجودات الأولى الأخرى .

إسبانيا ، والبرتغال ، وإيطاليا .. في مدريد رُكِّب ، لأول مرة سنة 1789 ، من قبل المشرِّح جان باتيست برو (J. B. Bru) ، [محضر التشريح في مدرسة الطب] التابع للفرقة الملكية ، أول هيكل عظمي للميغاثيريوم megatherium ، كما رُكِّب بذات الوقت ، أول هيكل عظمي لشدي متحجر ؛ ولم يتطور علم إحالة الفقرات إلا ببطء في إسبانيا بخلال القرن التاسع عشر . ولكن ، بخلال السنوات الأخيرة من القرن ، برزت بعض الأسماء الكبرى : أليرا Almera ، وفيدال Vidal ، الذي يرجع عمله بصورة أولى إلى الحقبة المعاصرة ، والذي بشر بالتجدد الحالي في الإحالة الأسبانية . ودخلت البرتغال ، وإن كانت أقل حظوة من حيث المكاس المتحجرة ، ضمن الحركة الكبرى التي طالت علم الإحالة في الحقبة المعاصرة .

كانت إيطاليا غنية بالمكامن المتحجرة من أواخر العصر الثالثي ، كما ضمت المجاميع الأغنى من هذه الحيوانات الثديية من العمر الفيلافرنكي [بين العصرين الثالثي والرابعي] ، والذي شكّل بالتأكيد المحيط البيولوجي للناس الأولين . سوف نرى كيف توصل العلماء الإيطاليون بدورهم ، في القرن العشرين ، إلى تقديم مساهمة مهمة في تاريخ الثدييات .

في روسيا ف. و. كوفالفسكي (V. O. Kovalevski) .. يقوم عمل ف. و. كوفالفسكي (1842-1883) على عدد صغير من الأعمال بسبب حياته القصيرة . ولكن عمله يمتاز بأصالة عميقة وشكّل أحد الروافد الأهم ، بخلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر ، في علم الكائنات الزائلة .

ويقوم تأليفه على أربع مذكرات ، أهمها بحث حول التصنيف الطبيعي للمتحجرات (1873)

إنطلاقاً من البنات من أجل التوصل إلى الوظائف ، لا يعود المتحجر هيكلًا متحجرًا ، بل يصبح كائنًا حيًا فاعلاً . وكل واجهة مفصلية لها معنى ، وكل حبيبة سنّية لها معناها . وفتحت طريق جديدة أمام علم الإحالة . إنه علم الإحالة «Paléontologie» بحق ، باستعمال الكلمة التي ابتكرها سنة 1862 أرشياك Archiac .

ويُسن ف. و. كوفالفسكي Kovalevski إن عدم تكيف الأطراف ناتج عن ترتيب أو إحكام مشوه لعظام اليد ، وعدم تلازم الأسنان ناتج عن بقاء الذبجات السفلى (Brachyodontie) . والأرجل المشوهة ميكانيكياً كانت عاجزة عن اكتساب هذه الأسطالة التي تعطي النمط الراكض ، في حين أن الأسنان المنخفضة لم تستطع التكيف مع التغير الحاصل في النباتات بسبب حلول حقول الأوليغوسين والميوسين محل النباتات ذات التركيب الطري في حقبة الإيوسين [الأوليغوسين: العصر الحديث اللاحق والميوسين: العصر الثلاثي الأوسط والإيوسين: العصر الحديث السابق (المترجم)].

إحاطة الفقريات في أميركا الشمالية : في الأزمنة الأولى لازدهار الأحاتة التطورية ، سيطر اسمان في أميركا الشمالية هما : و. مارش O. Marsh (1831 - 1899) ، و. د. كوب E. D. Cope (1840 - 1897) .

حوالي منتصف القرن التاسع عشر ، مكن مد السكك الحديدية الكبرى عبر القارة الأميركية من استكشاف الأراضي الواسعة في أقصى الغرب الأميركي ، والتي بقيت مستعصية تقريباً حتى ذلك الحين . عندها تم اكتشاف متحجرات ذات أهمية بالغة ، أثناء الحفريات الصعبة في مناطق غير صالحة للسكن . وقام يمثل هذا المشروع كل من مارش وكوب ، بهمة وبشاط وحاس كان يحملها في كثير من الأحيان على النخاصم . وكانت نتيجة هذه البحوث الدؤوبة ، اكتشاف عالم عجيب من المخلوقات ، تذكر أحياناً بالأخطاط التي سبق وعرفت في أوروبا ، وتكشف في أغلب الأحيان عن أشكال جديدة تماماً : برمائيات (قوازم) دينوصورية (ستيغوسفالية) وزحافات صوريات طاسية (Pelycosauriens) من العصور الأولى ، ودينوصوريات ضخمة من العصر الثاني ؛ وزحافات طائرة ؛ وطيور فريدة من أواخر الأزمنة الطباشيرية ؛ ثدييات ذات سمات غريبة من الجوراسيك ومن الطباشيري . ثدييات من بدايات العصر الثلاثي تدل على المراحل الأولى للتفتح العجيب الحاصل لهذه الطبقة من الثدييات .

وقد كثرت في أغلب الأحيان الإشارة إلى التعارض الفكري بين الاحاثيين الكبارين الأميركيين : كتب مارسيلين بول Marcellin Boule يقول : « إن فكر مارش ربما كان أقل استرسالاً للبدية ، وأقل ميلاً إلى التوليف والتركيب من فكر كوب ، ولكنه بدا أكثر تعقلاً ، ودا منهجية عملية أكثر التزاماً ومثابرة . كان مارش يعطي لأعماله شكلاً مدروساً أكثر ، ونهائياً أكثر . وكان ميلاً إلى البحوث المتخصصة الفخمة . في حين كان كوب يبذل نشاطاً محموماً قليلاً في اتجاهات أكثر تعدداً . وقد باشر عدة موضوعات فعاجلها في العديد من النشرات ، بشكل أقرب إلى المؤقت إلا أنها كلها كانت تحمل طابع الأصالة » .

من عمل مارش ، نحفظ أولاً ببحوثه حول الثدييات من العصر الثاني ، وقد نشرت في سلسلة من المذكرات ، صدر معظمها بين 1878 و1892 في « المجلة الأميركية للعلوم » تحت عنوان عام «ثدييات الزورويك» . وهي مقالات أولية تصف سريعاً أهم أخطاط مجموعة غنية ما تزال محفوظة حتى اليوم ، في معظمها ، في « بيدي ميزيوم » في جامعة يال . وتحت العنوان : « أودونتورينيت بحث حول الطيور من ذوات الأسنان ، البائدة في أميركا الشمالية » (1880) ، كرس عملاً ضخماً لطيرين في أواخر الأزمنة الطباشورية ، عثر عليهما في كنساس . واعتقد أنه يقرر ، من خلال وجود أشكال هذه الأسنان

المتطورة جداً ، ذكرى الأصل الرُّخافي للطيور . وقد تبين حديثاً ، من خلال أحد الشكلين : « اكتيرينيس » انه خلافاً لزعام مارش ، لم تكن الأستان موجودة . وهناك مقالة أخرى ليست أقل أهمية ، خصصت للذيبيات متخصصة الى أقصى حد ، هي « دينوسيراتا » (1884) ، فتحت طرقاً جديدة أمام علم المتحجرات . وكان هذا العمل هو المحاولة الأولى لاقامة علم « الباليولوجيا » (أو علم الإحالة العصبي) .

وقبل مارش جرت محاولات لدرس المخيخ عند الأشكال البائدة ، وذلك عبر درس صورة القلب الجمجمي الداخلي الطبيعي أو الاصطناعي وقد سبق أن وجد في مؤلف ترويه ، محاولة من هذا النوع : حيث قال : « في كتابه » بحوث حول العظام المتحجرة : « قدمت لي المصادفة السعيدة فكرة عن شكل دماغ الـ « أتولوترينوم » . . . » ان نصفيّ الدماغ لم يحتوي على تماريج وتلافيف ، بل شوهد فقط انخفاض طولي قليل العمق في كل نصف . وكل قوانين المقارنة والمماثلة تسمح لنا بالقول ان حيوانا هذا كان محروماً من أي ذكاء » .

وبعد ذلك بكثير قدم ب . حرصي العديد من إعادات تكوين قوالب دماغ الثدييات البائدة والمنتمة الى عدة مجموعات (أكلة لحوم ، وكيسيات الخ) ولكن بحوثه قلما تجاوزت مرحلة الوصف . ومارش هو الذي يجب أن يعتبر المؤسس الحقيقي لعلم الإحالة العصبي (الباليولوجيا) وهو علم يذكر تاريخ الدماغ عبر الأزمنة الجيولوجية وقد ظن مارش أنه يستطيع ، أن يصوغ ، ضمن بعض المبادئ ، القوانين التي تحكم هذا التطور . وإذا كانت البحوث الحديثة دحضت أكثر استنتاجاته ، يبقى له فضل المركز الطبيعي .

ويتعارض عمل كوب مع عمل مارش إذ كان [كوب] مفكراً فيلسوفاً كبيراً ، وكان أول إحتائي بحث ، في علم المتحجرات ، ليس فقط عن إثبات لنظرية التطور بل سار في السبل « النظرية من أجل محاولة تفسير التغيرات في الكائنات الحية » . ووجدت مادي فلسفته موزعة في عدة دراسات تحت عناوين : « إعادة نظر في نظرية التطور الحديثة ، (1880) » ؛ « في تطور الفقرات ، التقدمي والتقهرقي » (1885) ؛ « العوامل الأولى في التطور العضوي » (1896) « أصل الأمثل أو الأكمل » (1897) ، الخ .

يمكن اعتبار كوب أحد زعماء ما سمي بالمدرسة اللاماركية الجديدة ، التي تعزو التغيرات في البنية الى تأثير الإرادة الواعية أو غير الواعية أي الى العادات . وقد حاول أن يستخرج قوانين التطور الإحتائي ، موضعها في صيغ رنانة . ومع قبوله بأن الانتقاء يمكن أن يلعب دوراً حاداً إلا أنه لا يعطيه دور العامل المتطور : ان استمرارية الأجناس ليست هي أصل الأجناس .

إن مبدأ التوازي في تطور الكائن الفرد وتطور الجماعة أو العرق بدا له ، رغم الاستثناءات فيه ، ذا أهمية كبيرة . إن تاريخ الإحالة بالنسبة الى نوع الإبلات ، يبدل مثلاً على وجود تطابق وثيق بين التحولات ، التي حدثت خلال الأزمنة الجيولوجية ، والتحولات التي تظهر أثناء النمو الجنسي . ومن خلال تتبع تسلسل الأنواع ، منذ الحقبة الثالثة في العصر الثالثي حتى عصرنا الحاضر ، نلاحظ اندماجاً تدريجياً في منتصف البد ، مما يؤدي الى تكون عظم واحد هو العظم الوظيف « canon » ، ثم قصر ، في

الحجم وفي الطول ، في القواطع والأضراس الصغيرة . وإن نحن تتبعنا اليوم تاريخها الجنيني ، تبين لنا أنه في حالة الجنين ، يوجد عدة عظام بدلاً من العظم الوظيف . كما هو الحال عند الإبلات في العصر الميوسيني (القسم الثالث من العصر الثالث) الأخير ، وإن القواطع هي بعدد قواطع الإبلات في الميوسيني الأعلى . وفي الوقت الحاضر للجمال الصغيرة جداً ضرس صغير إضافي ، كما هو الحال في هذه الفصيلة في أواخر الأرمنة الميوسينية . ويزول هذا السن ، أو لا يستمر إلا في عدد قليل جداً من الأفراد ، في حالة الرشد . في هذه الحالة يوجد إذاً (وفي حالات أخرى كثيرة غيرها) موازاة بين تطور الفرد وتطور النوع .

ولكن التطبيق الضيق لهذا القانون يؤدي إلى أخطاء خطيرة . ويجدر إذاً أن لا ننسى بأن السمات المرحلية التي تظهر في المطفة ليست إلا تذكيراً جزئياً بأنماط نية مرت بها الأجداد عبر الأعمار الجيولوجية . فضلاً عن ذلك أن هذه السمات ليست في أغلب الأحيان الا تكييفات ذات علاقة بسوء الحياة . وكلها أسباب تدعو الى القول بأن تطور النوع لا يمكن ان يتقرر إلا بواسطة براهين إحيائية .

إن الفروع التي تبلغ مرحلة كبيرة من التخصص ، مهياة للزوال عندما تتغير البيئة أو المكان . من هذا التكييف من أجل الحياة ، بالنسبة الى الأشكال المتخصصة جداً ، يكتشف كوب عدداً كبيراً من الأمثلة في مختلف طبقات الفقرات . وحده « عدم التخصص » بحسب تعبير كوفاليفسكي ، قابل للتكيف .

وقد ساهم كوب أيضاً في توضيح واقعة تبدو عامة نوعاً ما : إن كل مجموعات الثدييات تبدأ بأنماط ذات قامة صغيرة .

وإن بحثنا في استخلاص معنى التطور العام عند الفقرات ، نلاحظ وجود نوعين من التطور : أحدهما يتم من خلال الجمع ، والآخر من خلال طرح الأعضاء . وإذا اعتبر تطور الفقرات في خطوطه الكبرى فإنه يبدو تصاعدياً بشكل واضح . إن القلب منذ السيكلوستوم (الحلقيات) حتى الثدييات ، مزود بقواطع تزداد تعقيداً . أما الجهاز العصبي فهو أكثر تقدماً . وأما نظام الهيكل فيتكاثر صعوداً من الفقرات الأكثر انحداً حتى الثدييات . وتفصل الفك مع الجمجمة يزداد فعالية من جراء تدني عدد العناصر الموجودة في القوس الفكي .

تلك هي بعض أفكار كوب حول أنماط التطور الإحيائي . الى جانب هذه المفاهيم النظرية ، التي غيرتها المعارف المتقدمة ، يوجد في عمله قبض ضخم من المعطيات الجديدة . لقد تناولت بحوثه تقريباً كل مجموعات الفقرات ، وبصورة أخص الثدييات وقد بقي كوب أحد الأسماء الكبرى في تاريخ الإحيائية .

إحالة الفقرات في أميركا الجنوبية - في الطريق الجديدة التي فتحها داروين يمكن أن نذكر ، بالنسبة الى أعمال الإحيائية الحارية في أميركا الجنوبية ، داروين بالذات الذي اعتبر أن بعض انواع مغاور البرازيل أمكن أن تؤدي الى ولادة الأنواع الحالية . ولكن هذا العمل هو عمل خفيف نوعاً ما .

في حوالي سنة 1880 فتحت بالنسبة الى علم الإحيائية في أميركا الجنوبية ، حقبة خصبة ، بفضل

عمل كارلوس وفلورنتينو أمغينو . قام كارلوس بعدة رحلات استكشافية في باتاغونيا ، ابتداءً من سنة 1887 ، فاكشف عدداً من المتحجرات ، وقدم عن المناطق المستكشفة معلومات دقيقة أقر بموضوعيتها كل المراقبين اللاحقين . ودرس أخوه فلورنتينو المتحجرات المتوفرة ، فكشف بالنسبة عن طبيعة غريبة ، عن مجموعة من الأشكال ليس لها شبيه في القارات الأخرى . وكما قال آ. غودري ، الصديق الكبير لأمغينو ، أن التطور قد خطا خطوة خاصة فوق القارة الأميركية . كان إنجاز ف. أمغينو ضخماً . وقد أمكنت تكملته ، وأمكن تعديله ، ولكنه بقي البناء الأساسي لدراسة الثدييات الثالثة في أميركا الجنوبية .

وينفس اللحظة تقريباً ، قام إيثاني آخر ، روث ، من أصل سويسري ومتجنس أرجنتيني ، بجمع مجموعات مهمة ، بعض عيناتها تكمل تلك التي اكتشفها أمغينو .



إن الحقبة التي درسناها تمتد تقريباً من سنة 1860 حتى 1890 ، وهي موسومة بصورة أساسية بتأثير الفكر التطوري . ولكن علماء الإحاثة باستثناء كوب لم يساهموا أبداً في وضع النظريات التفسيرية . فقد بحثوا عن الوسائط التي تسد الثغرات بين الأنواع والعائلات . والتطورية عندهم هي نظرية الاستمرارية التي تذكر قليلاً بمفاهيم فلاسفة الطبيعة . إذ لم يتوصلوا بعد إلى اكتشاف أهمية الزمن ومعناه .

الفصل الثالث

مسائل الخلق الحيواني

1 - مختلف اشكال التناسل

تتكاثر الحيوانات بالتناسل الجنسي وغير الجنسي ؛ وهذا الأسلوب الأخير ذو أهمية عند الحيوانات السفلى (بروتوزوير) وعند بعض مجموعات الميتازوير أي الكثرة الخلوية . وهو ينعدم تماماً عند المفصليات وعند الرخويات وعند الفقريات . والجنسانية عند الكثرة الخلوية ظلت غير معروفة تماماً لمدة طويلة ؛ وقام شوبرين وسيدليكي لأول مرة (1890) بإعادة تكوين دورة الكرويات من النوع المسمى «إيميريا» فأثبتنا الجنسانية عند السبورتوزوير .

إن عملية جماع النقايعات كانت موضوع أعمال بوتشلي ، وموياس (1888- 1889) وأعمال ر. هرتويغ . وكان الجماع حاجة دورية الى حد ما ؛ أما التكاثر غير الجنسي هل كان ممكناً بدون حدود ؟ هذه المسائل سوف تحل في القرن العشرين .

إن انفصال الأجناس كثير الوقوع عند الميتازوير ، خاصة عند الحيوانات العليا مثل المفصليات والفقريات . أما الحيوانات الخنثى فقد لحظ وجودها أحياناً في مجموعات كاملة (مثل الرخويات ذات الحياشيم الخلفية ، وذات الرئة ، وكذلك الابلاتلمنت) .

الصفات الجنسية الثانوية .- هناك صفات جنسية ثانوية تسمح بتحديد الجنس . فمنذ القرن التاسع عشر جرت محاولات لتوضيح حتمية هذه الصفات . وبينت التجارب كيف يقضي الإخصاء على هذه الصفات .

ومن أجل الحصول على ديك مسمن يجري الإخصاء على الديكة . في المزارع ، منذ قديم الزمان . ولاحظ برتهولد (1849) أن التلقيح العرضي أو الإرادي بأجزاء من الخصية على ديك مخصي ، يكفي لإعادة الإخصاب اليه . إن الإخصاء يؤدي الى حدوث تغيرات في ريش الأنثى التي تكتسي

بريش الذكر . وهذه الظاهرة كانت معروفة منذ زمن بعيد عند الطيور . ولاحظ حوفر وسان هيلير (1830) أنه في مداجن التدرج ، ترتدي الاناث ريش الذكور في حين ينمو عندها الاصبغ الخلفي (الصيصة أو الشوكة عند الديك) . ولاحظ آ . برنردت سنة (1889) وقائع مماثلة عند الطيور البرية وخاصة ديك الأدغال . هذه التحولات الطبيعية ، التي أعطاها برنردت اسم « ارمينويد » (arrhénoïdie) تتحقق عندما يتوقف التعطيل « الكالوني » (inhibition Chalonique) تحت تأثير السن أو تحت تأثير الظروف المرضية .

إن الدراسة التجريبية للفرق بين السمات الجنسية الثانوية لدى الضفدعيات قد افتتحت سنة 1894 من قبل ستيناك واستكملت من قبل العديد من المؤلفين في القرن العشرين . زرع ستيناك خصيات في ذكر الضفدع المخصي . وفي الوقت المناسب ظهرت حبيبات غددية على إبهامات التوائم الأمامية . ودلت النتيجة على توقع عملية هرمونات من جراء هذا التفريق .

وفي الحشرات ، كانت التحارب الأكثر قدماً بحثاً عن توضيح محدودية أو حتمية السمات الجنسية من فعل أوديمانس (1889) على عذارى الفراشات .

الجنس الضائع بين الذكورة والأنوثة *intersexualité* . - في أغلب الأحيان يتعين جنس الحيوان بالاختصاص أو التناسل . ولكن حالات التخصيب الذاتي أو الخثوية ليست نادرة . فقد درست بعض الحالات في القرن التاسع عشر . فعند حشرة افعسوية السدبل ، مثل لابيونيي La Bonnelie يتحدد نوع الجنس بطروف المو . والدراسة التشرحية لهذه الدودة قد تمت بصورة جيدة على يد هـ . دي لاكازدوتيه (1858) الذي لم يتوصل ، مع ذلك ، إلى معرفة الذكور الأقزام التي تعيش في فرج الأنثى أو فوق سطح جسدها ، فاعتراها حشرات طفيلية . وعرف آ . كوفالفسكي (1868) في هذه الطفيليات المزعومة ذكور البونيي ، أن غم البونيي ، ودويده ، ثم تطور هذه الدودة ونحوها إلى ذكر أو أنثى قد درسا من قبل سينغل (1879) . ولكن نوع جنس البونيي سوف لن يتحدد بوضوح إلا بحلول القرن العشرين .

إن الاختصاص الطفيلي قد تحقق بفضل آ . جيارد (1888) . فطفيلية السرطان وهي طفيلية الساكولين تمنع حصول المواد الجنسية ، فتذبل المبيضات . فضلاً عن ذلك وعند الذكور تحرف سمات الجنس الثانوية نحو الأنوثة . في سنة 1837 لاحظ رانكي أن البالامون المستطفلة بجراثيم البوبر كانت من الاناث . وفي الواقع كانت الذكور المستطفلة قد أصيبت بتغير في صفاتها الجنسية الثانوية فتحولت إلى اناث .

التختن الأنثوي *Gynandromorphisme* . - إن الفرد المختن *Gynandromorphe* يبدو كشكيلة من أجزاء بعضها يتميز بالذكورة وبعضها يتميز بالأنوثة . وأهم الأمثلة عن الخثوية تلاحظ عند المفصليات والفقرات . وأقدم حالة هي عند الكركند أو الغرنيط (homard) كشفها نيكولس (1730) . ووصف سيولد (1854) عدة حالات خثوية في النحل عند مربي نحل من مدينة كونستانس . والمعدات التي عثر عليها في مجموعات معهد الزوولوجيا « Zoologie » في ميونيخ ، أفادت فيما بعد بوفري Boveri لكي يقدم تفسيراً خلوياً (سيتولوجياً) لحالة الخثوية الأنثوية .

وأشار هوك (1893) الى الورنك أو سمك اللسا (Raie Raja Clavata) وهي خنثى لها في جانبها الأيسر عظم جناحي (Pterygode) ذكري وخصية فوق المبيضين .

وعند الطيور ، ذكرت عدة حالات من الخنثوية . وصف ماكس وير (Max Weber) (1890) طائر الشرشود (Pinson Fringilla coelebs) الذي يكتسب ريش الذكورة على يمينه وريش الأنوثة على شماله . وله خصية على اليمين ومبيض على الشمال . وذكر كابانيس (1874) حالات أخرى مماثلة ، في حين لاحظت لورينز (1894) ديك ادغال خنثى . وهذه حالات نادرة الوقوع ومتفرقة . ولكن في القرن العشرين تم تحقيق الخنثوية الأنثوية بصورة منهجية .

التوالد العذري (La parthénogenèse) . - ان الحمل بواسطة بيضة غير مخصية يسمى التوالد العذري من قبل ريشارد أوين (1849) ، وهو نوع من تشويه الحبل الجنسي . والحبل العذري الطبيعي أو الحمل بدون نكاح قد ثبت بوضوح في القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2) . وطيلة النصف الأول من القرن التاسع عشر ، أول تأويلات مختلفة : فاعتبره البعض إخصاباً مستمراً (فرضية ترمبلي) أو خنثوية مزدوجة أو نوعاً من البرعمة الداخلية . وهذا المفهوم الأخير وهو الأصل نجده عند فون سيبولد . وكان لا بد من انتظار أعمال كلوس (1864) حتى يتم فهم الحمل العذري ، وماهية البويضة المؤهلة للنمو بدون مساعدة الحيوان المنوي .

ان المحافظة على حالة الأزواجية في البويضة الخنثوية ، (وجود عدد 2N من الكروموسوم) يطرح مشكلة . فهذا الأمر يتم إما بإفراز كرية مركزية بدون انقسام ، إما بإصدار كرية ثانية مركزية تدمج مع البونوكولوس Ponucleus المؤنثة . وأول حل رصد عند الإناث الخنثوية ، بفضل ويسمان (1886) عند القشريات متفرعات القرون ، وبفضل بلوخان (1887) عند النمس أو قمل الدجاج ، ونفس الحدث قد لوحظ عند الحليقيات بفضل بيلييه Billet منذ 1883 .

ولدى بعض الحشرات لا تحدث الخنثوية إلا في حالة البذرة الدودية . وهذه الخنثوية المبكرة التي اكتشفها نيكولا واغنر سنة 1861 أطلق عليها اسم بيدوجينيس Pédogenèse (أو التخلف الطفلي) . والأمثلة الأكثر كلاسيكية هي حالات بعض مزدوجات الأجنحة وحشرات الجرب النباتي (Cécidomyie) التي درسها غاين (1865) ومشيكيوف (1865) .

إن الخنثوية الطبيعية ذات أهمية بالغة . فهل يمكن بالوسائل الاصطناعية العمل على تطوير بويضة ، لا يمكنها في الأحوال العادية أن تخصب بدون إلقاح ؟ إن أولى المحاولات في التلقيح الذاتي إصطناعياً تعود الى القرن الثامن عشر ، إنما كان لا بد من انتظار القرن التاسع عشر للعودة الى التجارب .

وزعم يورسيه (1847) وتيخوموروف (1885) ، الأول بأن الأنثى العذراء من نوع البوميكس التي تعيش على شجرة التوت قد باضت بويضات مخصبة بعد أن بقيت في الشمس ، وقال الثاني أن معالجة البويضات العذراء لنفس الحشرة بواسطة الأسيد سولفوريك المركز يحدث بداية تطور . وبويضات عذراء من حيوان التوتبا إذا وضعت في مواد كيماوية متنوعة (كلوروفورم) ، وروح

المجروف (روح القرنفل) وزيت الدخان المعقم ، الخ . . تشكل غشاء شبيهاً بغشاء الاخصاب
(O. et R. Hertwig, 1887; R. Hertwig, 1896) .

ولاحظت . هــ مورغان (1896) بداية تقطع تظهر عندما عولجت البويضة العذراء من التوتيا بماء البحر المَقْوَى بإضافة الملح اليه ثم وضعها في ماء البحر العادي . وكذلك أظهرت بويضات الضفادع والأسماك ، المغطسة في محلول ضد الدفتيريا (كولاجين ، 1858) أو في محلول خفيف جداً من مادة متسامية [التسامي أو التصعيد هو التبخر بدون المرور بحالة السيولة] (المترجم) (دويتز 1899) بداية تقطع أو تشق .

وأخيراً ، في سنة 1899 ، نجح البيولوجي (العالم الاحيائي) الاميركي في توليد دوييدات بتفطيس بيضات التوتيا العذراء ، لمدة ساعة ونصف ، في ماء البحر المَقْوَى بماء كلورير المغنيزيوم . وأحدث اكتشافاً لوب Loeb ضجةً وأثار منازعات حادة ؛ إن حقيقة « المواطنين الكيميائيين » لم يقلها الجميع .

« إذا كانت حقاً ، البيضات الموضوعة قيد التجربة هي من أنثى غير « محبسة ذاتياً » فإن « الإحياء » (Plutei) التي حصل عليها لوب (Loeb) ، كي نستعمل اللغة العامة ، قد نزلت من « السيدة توتيا » ومن السيد كلورير المغنيز » (شـ . فيغيه C. Viguier , 1901) .

وسوف يشاهد القرن العشرين تطوراً كبيراً في مجال التخصيب الذاتي التجريبي ، ليس فقط لدى اللاققرات البحرية ، بل لدى اليرماتيات والثدييات .

فالبيضة يمكن أن تنمر أحياناً بفعل النطفة المنوية فقط ، انها عملية « الاندروجينيز » androgenèse [andro = ذكر و genèse = خلق] (المترجم) أو التخصيب الذاتي الذكري . وكانت أولى محاولات التخصيب الذكري الذاتي المهجنة المولدة ، قد جرت على يد تـ . بوفيري T. Boveri (1889) الذي جرب تخصيب أجزاء من بيوض السفيرينوس Sphaerechinus بمبيّ الاشينوس Echinus (قنفذ البحر) . إن هذين الصنفين من ذوات الجلد الشوكي يختلفان من حيث شكل بذريتهما . وكانت النتائج الحاصلة مشكوكاً بها ؛ وسوف تجري تجارب مماثلة بنجاح في القرن العشرين .

تناوب الخلق التلقيني واللاتلقيني . - اكتشف أدلبيرت فون شاميسو Adalbert Von Chamisso (1819) ان « ذات الجبين » (Salpes) من المغلفات (Tuniciers) هي ذات اخصاب تناوبي : الشكل الفردي المنزل أو تبرعم البويضات (أوزويت Oozöte) بشكل خلايا فطرية « بلاستوزيت » (Blastozoites) [تكاثر الفطريات الذي يتم عن طريق التبرعم] (المترجم) [تجتمع بشكل سلاسل عائمة ملفقة جنسياً أو حية كاملة التكوين .

ووصف الدائمركي جـ . ستينستروپ J. Steenstrup في كتابه « تناوب عمليات الخلق » (altern-ance of Generations) (1842-1845) التناسل التناوبي عند مجموعات البطن Cœlentérés ، والمحقيات Trématodes والمغلفات Tuniciers . ولوحظ نفس التناوب عند المنخربات (Munier - Chalmas) .

الإنسال اللاتلفيحي .. بإمكان العديد من اللافرقيات أن تتكاثر عن طريق اللاتلفيح الجنسي ، انطلاقاً من أجزاء من أفرادها أو من بقايا تكوينية متمايزة الى حد ما . وعند البعوض ، ذات الأنسال التاووي ، يظهر الأنسال الجنسي بشكل متقطع . وفي الأشكال المستعمارية ، تولد بيضة واحدة جملة أفراد ، إما متشابهة فيما بينها ، وإما متفرقة مختلفة عن بعضها البعض (المحوقات ، الدودة المسطحة ، أو الحلقيات أو الجيبيات ...) . ومنذ القرن الثامن عشر ، يَسَّن ترامبلي Trembley هذه الظاهرة لدى هدره [حية الماء] المياه الحلوة . وتكاثرت الأمثلة بخلال القرن التاسع عشر .

وترتبط هذه التفاعلية عمليات الخلق ، أو إعادة تكوين الجسم غَرَضاً بأكمله بعد بتر منطقة ذات أهمية منه وكانت هذه الظواهر موضوع بحوث متعددة .

تخلق النطف الكثيرة من بويضة واحدة (Poly embryonic) - لبعض اللافرقيات عادة تفاعلية إنسالية خادعة تسمى تعدد التخلق النطفي (Polyembryonic) ، وفيها ، تنقسم كل بويضة ، أثناء النمو ، الى نطفتين أو أكثر . إن هذه التفاعلية المراقبة لدى دودة من دود الأرض من قبل كلينبرغ Kleinenberg (1879) ، قد اكتشفها ب. مارشال P. Marchal (1897) لدى ذوات الأجنحة الغشائية الحلقائية المسماة غشائيات الأجنحة الصفريات أو « Encyrtus Fuscicollis » والتي تبيض بيضة ذات القلاح ذاتي ضمن بويضات الفراشة المسماة « Hyponomeuta malinella » ، ان وقائع من ذات النسق قد ذكرت لدى الثدييات .

وهكذا ، بالنسبة الى المجالات البيولوجية الأخرى ، كانت تقديرات القرن التاسع عشر ، من أجل معرفة ظواهر الإنسال ، ضئيلة .

II - تطور علم النطف Embryologie

بخلال القرن التاسع عشر ، خطأ علم النطف خطوات مشهودة ، مرتبطة بتقدم المجالات الأخرى ، وبخاصة السيتولوجيا Cytologie أو علم الخلايا . كان علم النطف في بادئ الأمر وضعياً فقدم توضيحات حول طبيعة الأمشاج gamètes ، وحول بنية البيضة المخصبة وحول مختلف مراحل نموها ؛ وحلل نتائج الظواهر التي تؤدي ، انطلاقاً ، من الخلية الأولية ، الى توليد فرد متلائم مع غط النوع . ثم ، وبسرعة ، استكمل علم النطف (الامبريولوجيا) الوصفي بعلم النطف المقارن ، وأثبتت أعمال متنوعة مهمة وجود تماثل في النمو النطفي لدى كل الفقرات ، ووجود تشابه في هذا الشأن بين الفقرات واللافقرات .

ولكن من أجل معرفة الأوليات (ميكانيسم) كان لا بد من اللجوء الى الطريقة التجريبية التي لم تطبق أبداً بعد سبالانزاني Spallanzani ؛ وهكذا أنشأ علم النطف السبي (الاتعمالي) أو التجريبي ، الذي بدأت نهضته في أواخر القرن .

1 - علم النطف الرصفي وعلم النطف المقارن

كل فرد يأتي عن نمو تطور خلية - بيضة . وتمثل هذه الخلية تكويناً خاصاً . وهي تنتج عن اندماج عنصرين خلويين هما المشيجان ؛ أحدهما أبوي المنشأ هو المنوي ، ويتكون في خصية الذكر ، والآخر أمومي المنشأ هو البويضة وينمو في مبيض الأنثى . ومعرفة الشروط الخاصة لولادة الأمشاج ، ودراسة اندماج ثم تكون البيضة الناتجة عن الأمشاج ، كانت من المكاسب الرئيسية التي حققتها البيولوجيا [علم الأحياء] في القرن التاسع عشر

الأمشاج - إن كل مشيج هو نهاية خط من الخلايا الجرثومية المتتالية داخل كل من المبيض والخصية ، وهذان المشيجان هما التوليد المنوي والتوليد المبيضي . وكل من هذين الخطين الخلويين ينتهي بانقسام مزدوج من نوع خاص ، هذا الانقسام يخفض عدد الصبغيات إلى النصف من $2N$ إلى N (وهذه البنية الخاصة في نوى [جمع نواة] الأمشاج تسمى هابلويد Haploide) وهذا ما يسمى « بالتقليل » (méiose) [من كلمة أقل (المترجم)]. في البيضة ، نتيجة اندماج مشيجين ونواتيجها ، تنضاف صبغيات هاتين : $(N+N=2N)$ مما يشكل بنية نوى الأنسجة الأبوية والأمومية عبر الأجيال المتتالية . وهكذا بعد الإخصاب ، يُعاد تكوين البنية الصبغية المزدوجة بواسطة $2N$ صبغية .

وتبدأ الفترة الكبرى من علم الأجنة مع كارل ارنست فون بير (Karl Ernest Von Baer) (1792-1876) الذي تعود أولى أعماله حول الأجنة إلى سنة 1819 . فقد اكتشف لدى كلبه بويضة الشدييات (De ovi mammalium et hominis genesi) (1827) . إن مبيض الشدييات يفرز بصورة دورية حبيبات كروية تنفجر ثم تنكمش . وفي سنة 1672 ، ظن ر. دي غراف R. de Graaf أن هذه الحبيبات هي البويضة بالذات . هذه المكونات التي سميت « جرابيات دي غراف » كانت قد روقبت من قبل هالر Haller لدى النعجة (1753) ومن قبل كريكشك Cruikshank لدى الأرنب (1797) ، ومن قبل بريفوست Prévost ودوماس Dumas عند الكلب والأرنب (1824) . هذه الجرابيات هي في الحقيقة زوائد خارجية دورية في المبيض ، فيها تكمن في الحقة (البويضة = ovule) ، التي تنحدر بتمزق الجراب ، كما عرف ذلك بير Baer . وتنطلق البويضة المحررة لتتفر في المسالك الرحمية من الأنثى (قنوات البيض) حيث تتخصب بالمني ؛ وبعدها تتعلق النطفة في الغشاء الداخلي من الرحم حيث تنمو .

إن دور وطبيعة المنويات قد تم تحليلها . وعاد بريفوست ودوماس (1824) إلى أعمال سبالانزاني فحققا تخصيب بويضة الضفدعة . ولاحظا أن السائل الذكري المصفي يفقد قدرته الخصيبية ، في حين تحتفظ حثالة التصفية بهذه القدرة . وتوضحت الطبيعة الحقة للمنويات ؛ إنها ليست لا نفاغيات ولا هي بالطفيليات . وبيّن بلنير Pelter ودوجاردان Dujardin (1827) أنها مادة عضوية منبثقة عن الأنابيب المنوية في الحصى . وقدم ر. واغنر R. Wagner (1827) وصفاً جيداً لمنويات مختلف الحلويات . وأخيراً ، أقرت الدراسات المتخصصة التي أجراها كوليكير (Kolliker) (1841) وواغنر

ولوكارت (Wagner et Lekart) (1849)، الأصل الخصوي للمني والدور الأساسي للمنويات. ان النظرية الخلوية قد صيغت، وعرفت الأمشاج بصورة صحيحة باعتبارها خلايا.

وشكّل تحليلاً وفهمٌ التخصيب حقبة جديدة؛ ورصد و. هرتويغ (O. Hertwig) (1875) وسيلينكا (1879) دخول المني في البيوضة عند التوتيا، ورصد ه. فول (H. Fol) (1876) ذلك عند نجمة البحر. ان نقص الصفيغات في الأمشاج، نتيجة عدم التخصيب، واندماج الأمشاج عند التخصيب قد رصدها وراقبها فلمنج (Flemming) (1882).

البيضة وغوها - إن البيضة المخصبة هي منطلق عملية تطور الكائن الفرد (Ontogénese). فبعد التخصيب يأتي الانفلاق أو «التشقق». فتنقسم البيضة الى قسمين فأربعة ثمثمانية فستة عشر، فأثني وثلاثين، فأربعة وستين... من الخلايا الوليدات أو بلاستومير (Blastomères). التي لا تُصاب بالتبديلات الفضائية. ويولّد الانفلاق كتلة الخلايا الناشئة «المورولا» (morula). وتتابع الانقسامات الخلوية فتتكون البلاستولا Blastula وتحتوي الحلقة «البلاستولا» تقعرًا قابلاً للانفلاق هو «بلاستوسيل». وعندما تبدأ عملية «التخلق» (Gastrulation) التي تتضمن تغييرات مكانية وخاصة النزوح، عمقًا، لمجموعات من الخلايا كانت حتى ذلك الحين على السطح. وبعدها تولد المضغة (gastrula) وهي قطعة ذات ريفتين، الأكتودرم والاندودرم، تحيطان بالبلاستوسيل. وتظهر حركات أخرى؛ وترسم الوريقة الثالثة «الميزودرم»؛ وتتحقق بدايات الأشكال الجنينية «التخلق». وكل بداية سوف تأخذ حُدّها. وتأتي بعد البنية التعميمية في «البلاستولا» نواة أو بذرة تشتمل على فيفساء من الأقسام المستقلة.

وانفلاق البيضة قد تم درسه لدى مختلف مجموعات الحيوانات: الضفدع (ريموست ودوما، 1824)؛ سمندل الماء (روسكوني Rusconi، 1836)؛ الدود المسطح أو العريض (سيبولد Siebold، 1837)؛ العدادات [حيوانات مائية من المجوفات] (لوفن Lovén، 1837)؛ نجمة البحر والرخويات «Nudibranches» (سارس Sars، 1837)؛ الثدييات (بيشوف Bischoff، 1838)؛ السمك Poisson (فوغت Vogt، 1842)؛ الطير (برغمان Bergmann، 1847). وأكّد كوست (Coste) (1850) على عمومية ظاهرة انقسام (انفلاق) البيضة.

وبرز مفهوم الوريقات المنتجة وقد استشعره ولف Wolf من أعمال ه. ك. باندر H.C. Pander عند الأخطبوط، وخاصة من أعمال فون باير Von Baer. وابتكر باندر Pander (1817-1818) كلمة «بلاستودرم» (Blastoderme) [خلايا تتكون من انقسام البيوضة (المترجم)]. وأكّد م. ه. راتكي (1829) نظرية الوريقات المولدة على بيضة السرطان. وأطلق ريماك Remak (1845) على الوريقات الثلاث تسمياتها الحديثة «أكتو-درم، ميزو-درم واندو-درم» [ecto: خارجي؛ méso: متوسط، أوسط endo: داخلي إما derme: جلد] (المترجم)]. وبين ت. ه. هُكسلي T.H. Huxley (1849)، ان المجوفات ليس لها إلا ريفتان نطفتان هما الداخلية والخارجية؛ وإذا فهي تبقى في مستوى الغاسترولا (gastrula). وقدم هايكل Haeckel نظريته الجرئية

حول الغاستر *gastraea*، والغاسترولا هي سلف كل المحلويات المفترض. واقترح أ. ر. لانكستر E.R. Lankester (1873) كلمات هولوبلاستيك *Holoblastique* أي «كاملة الانشقاق» *diplo blastique* مزدوج الانشقاق و«ثلاثي الانشقاق» *Tripto blastique*، وهي ما تزال مستعملة حتى اليوم، وزعم هيس W. His (1874) انه في مرحلة ما من التطور، تتطور البدايات الجنينية بشكل مستقل؛ لقد تم وضع وترسيخ مبدأ الفسيفساء.

ومن سنة 1828 الى 1837، نشر فون باير Von Baer مؤلفاً مهماً جداً. بمجلدات. über En-
«*twicklungsgeschichte der Thiere*»، وهو أول مطول يتعلق بنمو الفراخ، وبين بشكل خاص تشابه المراحل الأولى لدى أجنة الفقريات، بعد الأخذ في الاعتبار أعمال راتكي السابقة (1825) الذي اكتشف الشقوق الحشومية والأقواس الحشومية لدى أجنة الطيور والثدييات التي تشبه في هذه المرحلة أجنة الأسماك. ولخص فون باير الوقائع في سلسلة من انقوائين التي تقرر أنه:

- أ- بخلال تطور الأجنة تظهر الخصائص العامة قبل الخصائص الخاصة؛ فالكلب أثناء تخلفه هو فقري قبل أن يكون ثديياً، وهو ثديي قبل أن يكون آكل لحوم.
- ب- ان النباتات الأقل عمومية تشتق من النبات الأعم التي هي أسبق، وهكذا دواليك.
- ج- ان جنين حيوان ما يبقى دائماً مختلفاً عن أجنة الأشكال الأخرى.

د- ان جنين حيوان عالٍ في سلم الكائنات لا يشبه أبداً الراشد في نوع أدنى، بل يشبه فقط جنينه إن الشقوق الحشومية في جنين الأمنيوسات (Amniote) لا تشبه أبداً الشقوق الحشومية في سمكة راشدة، بل تشبه شقوق جنين السمك.

ووصف ي. فان بينيدن E. Van Beneden (1885) لدى الخيطية المسماة (اسكاريس ميغالوسيفالا) ظاهرات نضج البضعة، وحول نفس الحشرة حلل و. هرتويغ O. Hertwig مراحل تخلق المشيج.

وقام علماء أجنة عظماء بدراسة التخلق الفردي لدى مختلف المجموعات منهم آ. كوفالفسكي A. Kovalevski وأ. مشنيكوف E. Metchnikov وأ. ر. لانكستر E.R. Lankester وف.م. بالفور F.M. Balfour وأ. كورشلت E. Korschelt وك. هيدر K. Heider. وكتب الثلاثة الأخيرون الموسوعات الكلاسيكية حول علم الأجنة.

القانون التخلقي الاحيائي الأساسي الذي وضعه هايكل (Haeckel) - قدم فريزر مولر F. Müller (1864) الفكرة بأن المراحل المتتالية لنمو جسم ما، هي تذكير بالحالات المتتالية التي تصل إليها المجموعة بخلال التطور والنمو. وهناك ملاحظة مشابهة قدمها الألماني ج. ميكل J. Meckel (1815) والفرنسي أ. سير A. Serres (1842). واستلهم هايكل (Haeckel) (1866) ملاحظات هؤلاء السابقين وبصورة خاصة القوانين المصاغة من قبل فون باير Von Baer، فعبّر عن نفس الظاهرات بنجمة مقتضبة لاقت نجاحاً كبيراً: «إن التخلق الفردي هو استجماع مختصر لتخلق النوع». ويقول آخر ان التطور الفردي يختصر تطور النوع. واطلق هايكل على هذه القاعدة: «القانون البيولوجي

التخلقي الأساسي . وإثار هذا القانون الحماس الحاد . فهو يقدم تفسيراً للأعضاء الانتقالية في الأجنة : مثلاً ، إن أجنة الحيتان (لثلاثة أشهر فما فوق) تمتلك بدايات اسنانية لا تحترق اللثة ، ثم تختفي دون لعب دور . إن هذه البدايات تذكر بحالة التسنين Cérodonte التي كان عليها سلف الحوت الذي استبدلت أسنانه بشاربين قرنيين .

إن صيغة هايكل Haeckel ليست صحيحة في شكلها . ويطبق القانون على الأعضاء لا على الجسم في مجمله . إن الجنين البشري له شقوق خيشومية ، وحبل ظهري ، وقلب . . . تذكر بأعضاء مماثلة في جنين السمك .

ولكن الجنين البشري ، لم يكن بأي وقت من الأوقات ، يمتلك هيكلية سمكة راشدة بالغة . كل عضو يمتلك تحلقاً ذاتياً خاصاً . وإن كان صحيحاً أن جلدود الثدييات لا تمتلك شقوقاً خيشومية ولا حبلًا ظهرياً ، ولا قلباً . . .

وقد شعر هايكل تماماً بالفروقات بين التخلق الفردي والتخلق النوعي ؛ وقد ميز بين السمات التناسحية وهي سمات مورثة والسمات التخلقية المختلطة ، وهي سمات ثانوية تنضاف إلى الأولى . إن الشقوق الخيشومية ، والعمود الفقري هي سمات تناسخية ، في حين أن المشيمة (السخذ) هي سمة تخلقية مختلطة . ويتعقد التطور بإضافة السمات الجديدة إلى السمات السلفية .

ولم يقبل فون باير (Von Baer) أبداً بقانون هايكل Haeckel ؛ فهو يعتبره كتأويل تطوري للقوانين التي سبق له أن صاغها منذ سنة 1828 . ومن الغريب أن نذكر اليوم أن قوانين فون باير Von Baer - وقد أعادها علماء الأجنة الإنكليز إلى الواجهة - قد فضلت ، لأنها أصح وأدق ، على قانون هايكل .

2 - علم الأجنة التنبؤي أو التجريبي

إن علم الأجنة كان وصفاً في بداياته ثم أصبح تجريبياً في آخر القرن . وهناك اسمان يبرزان هذا الاتجاه الجديد ، وهما الفرنسي لوران شابري Laurent Chabry (1855-1894) والألماني ويلهلم رو (Wilhelm Roux) (1850-1924) .

درس ل . شابري عو القربايات (1887) . ولاحظ جملةً من الشذوذات وبخاصة تشكل أنصاف الأجنة . وفهم أن أنصاف الأجنة هذه تشكل عندما تتوقف إحدى الخليتين الأولىين (البلاستومير) (Blastomeres) المنبثقتين من البضة ، عن النمو . ولكي يراقب تفسير ذلك ، حاول أن يفتعل الشذوذ وذلك بأن أقدم على إتلاف واحدة من « البلاستوميرين » بمجس زجاجي ؛ ونجحت التجربة وحصل على نصف جنين ، وأدى تدمير إحدى « البلاستوميرين » إلى نمو شروعات ناقصة وكان ل . شابري Chabry أول من « شرّح البضة » ، ولكن حياته القصيرة ومزاجه غير المستقر حرمه من الإفادة من تقيته .

وبذات الوقت تقريباً أسس و . رو (W. Roux) علم الأجنة التجريبي أو ميكانيك النمو بسلسلة من التجارب المتقنة على بيضة الضفدع . وحاول أن يشرح ، في كتابه :

«Über die Kunstliche Hervorbringung Halber Embryonen durch Zerstörung einer der beiden ersten Furchungszellen» (1888)

أثر التكوين الداخلي للبيضة على النمو المبكر للجنين ، والمؤثرات الخارجية التي تتناول البيضة . وعند حرق إحدى « البلاستوميرات » ، بالمرحلة الثانية ، حصل على نصف جنين غودجي ؛ في هذه المرحلة ، كان تمايز الجنين قد تحدد . واكتشف و. هرتويغ مَعدَاتٍ أفضل في بيضة التوتيا ، الفقيرة في المح . وتستطيع البلاستوميرات في المراتب 2 و 4 و 8 و 16 و 32 ، المفروزة بعضها عن بعض بواسطة المخض ، أن تعطي يساريع كاملة .

في سنة 1891 ، قدم هـ. دريش H. Driesch ، باحث الحيوية الحديثة ، التبين التجريبي لظاهرة « الانتظام أي ضبط حرارة بيضة التوتيا . في بيضات بعض المجموعات ، تستطيع البلاستوميرات الأولى المعزولة أن تنمو بشكل أجنة كاملة ، إنما بحجم أصغر ؛ ولكن ، في بيضات مجموعات أخرى ، لا تعطي البلاستوميرات المعزولة الأجزاء من جنين . وفي بيضات التوتيا ، يبرز الانتظام ، وكل بلاستومير تحتوي على كل ما هو ضروري ، في حالة الكمون ، من أجل نمو الجنين نمواً كاملاً . وفي بيضات الرخويات يتحدد التطور اللاحق سريعاً بفصل موقع البلاستومير ؛ دواما انتظام .

وبعد اكتشاف دريش (Driesch) ، قام ويلسون (1893) برصد وتحقيق الانتظام انطلاقاً من البلاستوميرين الأولين ، لدى مدّنب الطرفين (Amphioxus) حيوان بحري صغير يعيش غالباً مخبئاً في الرمال (الترجم) ، ثم من قبل اندرز (Enders) (1895) ، وهريزكا (Herltzka) (1896) - (1897) لدى سمندل الماء (Triton) ومن قبل و. شولتز (O. Schultze) (1894) ومن قبل ت. هـ. مورغان (T.H. Morgan) (1895) لدى الضفدعة .

إن التركيب الكيميائي للوسط الذي تنمو فيه البيضة ، له أثره . واكتشف هريست Herbst (1892) أنه بإضافة كلورور الليتيوم إلى ماء البحر ، يخلط نظام تكوين الجنين في التوتيا . إن ملح الليتيوم يحدّث أثراً نباتياً .

وغو العديد من البيضات غير المكتملة الصفيات ، بعد تحفيز ميكانيكي أو كيميائي يدل على أن الإخصاب والتنشيط هما عمليتان مختلفتان .

وتطور علم الأجنة التجريبي الذي أسس في القرن التاسع عشر تطوراً ضخماً في القرن العشرين . فهو يمثل مجالاً علمياً مهماً جداً في البيولوجيا الحديثة . وكان حفزو. رو Roux مهماً ورئيسياً ، ليس فقط في ألمانيا ، بل في كل المختبرات ؛ وأسس مجلة دورية باسم : «Roux' Archiv für Entwicklungsmechanik der organismen» خصصت لنشر المعطيات المتعلقة بميكانيك النمو ، وهي ما تزال تصدر حتى اليوم .

3 - علم البحث في تشويه الأجنة (Tératologie)

إن نشأة المسموخين المشوهين لم تتوضح في القرن الثامن عشر (راجع مجلد 2 ، القسم III ، الكتاب III ، الفصل 1) ولكن النقاش الذي بدأ استمر في القرن التالي .

وعاد ميكل Meckel (1812-1816) الى نظرية المسخ بالقوة (الكامن) التي قال بها وولف (Wolff). وكان اتيان جوفرواسان هيلير (E.G. Saint-Hilaire) من انصار تدخل الاسباب المعارضة فحارب نظرية المسخ بعنف؛ فصمم على إثبات نظريته الخاصة، عن طريق التجربة، فجرب الحصول على مسوخ انطلاقاً من بيوض الدجاج باختضاعها لظروف غير عادية. وأعطت التجارب المحققة بين سنة 1820 و1826، في أوتاي Auteuil، أفراخاً ممسوخين. وبدت هذه النتيجة نقضاً لنظرية المسخ الأصلي. ونشر ايزيدور جوفروا سان هيلير، ابن اتيان، وهو أحد مؤسسي علم المسخ العلمي، كتاباً ضخماً بعنوان «التاريخ العام والخاص للشذوذات الجسمية عند الإنسان والحيوان؛ أو الوسيط في علم المسخ» (3 مجلدات، 1832-1836). وكتب يقول (1847):

«وهكذا نصل من كل السبل الى نفس النتيجة العامة وهي: النشأة العرضية، غير الأولية، للشذوذات التشويبية. إن فرضية النطف ذات الاستعداد المسبق، للتشويه، قد دحضت نهائياً، وإذا كان لها أن تبقى في العلم فباعتبارها من التاريخ...».

في سنة 1877 أكد دارست Dareste وتابع عمل اتيان جوفروا سان هيلير. وبصورة متزايدة فرضت فرضية مسؤولية العوامل الخارجية المؤثرة في خلق المشوهين نفسها. قال دارست Dareste: «أن ليمري Lémery على حق؛ لقد عرف الحقيقة ولكنه لم يُعرف بها، لفرط ما كان أسيراً لعقيدة الوجود المسبق للنطف. وبإمكاننا أن نقول اليوم أن حالات المسخ تنتج دائماً عن تأثير الاسباب المعارضة، وهي أسباب لا تغير أبداً في الجهاز المكتمل، بل تغيره أثناء اكتماله أو تكونه، وذلك بإعطاء عمليات التطور اتجاهاً آخر مختلفاً».

وجاءت نتائج افتعال التشويه الخلقي التجريبي لتؤكد دور العوامل الخارجية في ولادة المسوخ. ولم يعد للمسوخية الأصلية الكثير من المدافعين. وفي سنة 1887 كتب ل. شابري (Chabry) يقول:

«لن أركز أكثر على هذه الوقائع (وقائع كان يراها لصالح المسوخية الأصلية)، بعد أن عثر العلماء في علم التشويه، على الوسيلة التي تمكنهم من إيجاد كائنات ممسوخة، من بيوض، مهما كانت، وبالتالي من بيوض طبيعية (وهذا ما قمت به بنفسي بالنسبة الى القماعات أو ذوات القرب (Ascidies))، ولو كان هناك بعض أشخاص، يثبّدون في نظري، وكأنهم يحملون لفكرة القديمة، فكرة تشويه النطف، كرهاً لا مبرر له... في بادئ الأمر، أن التشويه المسخي، هو، في حالات كثيرة، وراثي، حتى ولو ظهر بشكل متقطع، وتدل المراقبة بأن الآباء الأسوياء ظاهرياً هم في الواقع ممسوخون بالقوة، مهيأون لتوليد العديد من المسوخ المشابهين لهم... ولا علم لي بوجود تحارب أجريت فقط من أجل غاية هي استحداث مسوخ عن طريق «العمل» على الأهل، إذ هذا هو السبل الواجب الاتباع من أجل تقليد الطبيعة».

ولكن تقدم البيولوجيا سوف يثبت أن تختلف العوامل الخارجية كانت غير مهيأة لاستحداث وافتعال كل أشكال المسخ. والواقع، أن علم الوراثة سوف يثبت أن الكثير من حالات المسخ يزداد على أثر انتقال حينة صبغية. تلك هي حالة العديد من الحالات الشاذة التي اعترت الهيكل العظمي، وبالضبط حالات فقد الأصابع (Ectrodactylie) وتعدّد الأصابع (Polydactylie)، التي

ذكرت في القرن الثامن عشر في المناظرة التي جرت بين وينسلو Winslow وليميري Lémery . ان ما قدمه علم الوراثة قد أثار في بداية القرن تحولاً في الأفكار ، يرم نشأة المسوخ . نحن نعلم الآن بوجود مسوخت ولاديه أو طبيعيه النشأة ومسوخت مكتسبه أو غير نشاويه . الأولى تكون وراثيه والثانيه ليست وراثيه .

من كان على حق في المناقشة حول المسوخ ، ليميري أم وينسلو ؟ هناك بعض من الحقيقة في كلٍ من الطرفين المتعارضين . ولكن مفهوم وينسلو بحكم قبوله ، بأن واحد ، بالتشويه الأصلي ويتدخل العوامل الخارجية ربما يقترب أكثر من الأفكار الحديثة .

علم المسخ والوراثة - اهتم ايزيدور جوفروا سان هيلير كثيراً في معرفة مدى وراثيه أو عدم وراثيه حالات الشذوذ المتنوعه . وبكثير من روح النقد ، راجع الملاحظات القديمة ؛ وأضاف اليها ملحوظات ذكية وأحياناً نتائج تجاربه الشخصية التي أجراها على الثدييات .

وقد رأى أن الشذوذات الفردية ، قد تكون في أصل أو نشأة عرق ، أو تشكيلة جديدة وحتى في نوع جديد :

« إن علم المسخ لا يوضح فقط أصل الأشكال المحلية وأصل السلالات الداجنة ، والتي هي ، في المآل الأخير ، تفرعات حقة من النمط الخاص الذاتي ، نُقلت ، بشكل أكثر انتظاماً من غيرها ، عن طريق التوليد فأصبحت بالتالي مشتركة وشائعة في عدد أكبر من الأفراد ، ان التفسير بذاته للفروقات العادية حقاً بين الكائنات ، وكذلك بوجه خاص فروقاتها الذاتية لا يبقى ، بالكامل ، خارج المعلومات الخصبه التي قدمتها دراسة الشذوذات أو الخروج على المعتاد » .

وتصور ولادة النوع من خلال تغيرات مفاجئة فردية وعارضة ، أي تبدلات . وإذا بدا ايزودور جوفروا سان هيلير كواحد من الطليعيين في مجال علم الوراثة الحديث وكأحد السابقين القائلين بالتبديلية .

الفصل الرابع

الجنسانية والتناسل عند النباتات

ج. ب. آميسي واخصاب النباتات ذات الزهر .- كان لا بد من مرور ما لا يقل عن قرن من البحوث ، منذ تجارب كاميراريوس الشهيرة (1694) ، لكي تمتد فكرة الجنسانية لتشمل المملكة النباتية رغم أن الأمر لم يتعلق إلا بجزء أصغر من أجزاء هذه المملكة ، هو النباتات ذات الزهر - ثم لتبيين الحاجة الى التخصيب ، في عملية الانسال بواسطة الحبوب .

ولكن على ماذا تقوم الظاهرة ؟ ان العلامات الخارجية الجوهريّة عنها لم تعرف بعد . يجري الكلام عن نوع من التماس بين السائل الذكري والبيضة أو البذيرة ؛ ينتشر سائل غبار السطلع فوق السمة Stigmate [الندبة فوق مدقة الزهرة (الترجم)] ، يرى البعض أن هذا السائل يحتوي على النوى ؛ ويرى آخرون ، لم يتحرروا بعد من الأرسطية ، أنه هو مبدأ الحركة والحياة ، لأن البذيرات تكون قد تشكلت في الأنثى ؛ ويرى غيرهم أيضاً (كولروتر Koelreuter وبوفون Buffon في القرن الثامن عشر) ، بعد أخذهم بتجارب التهجين ، أن النوى أو البذيرات تنتج عن تزاوج المبدئين الذكري والأنثوي .

كتب ميربل Mirbel سنة 1815 يقول : « أما اسلوب العمل الذي يشكل جوهر العملية فهو يخفى على جِسمنا وعلى فهمنا تماماً » .

والجهل الذي دام التخطيط فيه ، يبرز تماماً من خلال مذكرة دوتروشي Dutrochet حول التوالد الشقي (sexuelle) في النباتات ، والتي نشرت سنة 1820 ؛ ولم تتضمن هذه المذكرة أي تقدم بالنسبة الى معارف القرن السابق . ولكنها الحقبة التي أصبح فيها الميكروسكوب بالغ الكمال على يد آميسي Amici . وبواسطة هذه الآلة ، سوف يحقق العالم الايطالي الكبير الاكتشافات الأولى الحاسمة . والقول الحق ، كان هناك ، منذ ثلاثة أرباع القرن من قبل (نيدهام Needham ، ب. دي جوسيو B. de Jussieu) ، ارصاد حول بعض المظاهر الوظيفية للسطلع : الانفلاق في الماء ، المنعقوب بخروج مادة

حبيبية ، تم ظهور نوع من المصرد ، أو الزائدة الأنبوية ، ولكن كل هذا بقي بدون معنى دقيق واضح . ومنذ 1750 ، ظنّ الأباتي نيدهام Needham أن المادة الحبيبية في الطلع هي « الحبيبيات المنوية » التي اكتشفها عند الإنسان ليونوك Leeuwenhoeck (1677) . وقد ظنّ علماء الطبيعة من النصف الأول للقرن التاسع عشر ، يومتز ، أن عليهم أن يعثروا على ظاهرات مماثلة ، حتى في التفاصيل ، للظاهرات التي تم العثور عليها في الحيوانات .

وافرت أعمال أميسي Amici (1823-1830) وبرونيارت (Brognart) (1827) ، ضد كل توقع ، أن عملية التخصيب تبدأ بانتاش (بانبات) الطلع على رأس المدقة ؛ فيحصل ظهور زائدة تأخذ في النمو داخل أسجة السمة من المدقة وقلمها حتى البذيرة . وكان لمجمل هذه الأعمال دوي عميق في عالم العلم . وأثارت مناظرات متحمسة تدخل فيها العلماء الأكبر والأعظم خاصة ر . براون R. Brown (1831) وشليد Schlieden (1837) . وكانت أعمال أميسي الجديدة (1824، 1846) هي التي صحت الوضع .

وانتهى نصف القرن مع نشرات ش . ف . غارتر C.F. Gaertner (1844) الذي نفذ تسعة آلاف عملية تجيين بخلال خمس وعشرين سنة من البحوث ، ونشرت هوفمستر Hofmeister (1849) الذي أكد بالتمام والكمال استنتاجات أميسي . وبعد ذلك عُرف أنه توجد خلية بويضة في « الحق الجنيني » (الفوق) (تعبر أوجده برونيارت Brongniart) ، وإن هذه الخلية - البويضة لا تتحول الى جنين إلا بالتعاون مع الطلع . أما عملية الاخصاب بالذات ، ابتداء من لحظة تماس الأنبوب الطلعي مع البذيرة ، فإن أيا من عناصرها لم يكن معروفاً . وكان يعتقد يومتز بوجود سائل يتسرب عبر الأغشية ليدخل الى « الحويصلة الجنينية ، ولم « يستبعد » أميسي أن تكون « المادة المهية للتكون » مؤلفة من « خليط من سائلين أفرزتهما الأعضاء الذكرية والأنثوية » وهو تصور عمره قرن ! .

الجنسانية عند اللازهريات - الى جانب البحوث الجارية حول الاخصاب في النباتات الزهرية بذلت جهود ناشطة من أجل فك عقدة مسألة أعم بكثير ، هي مسألة التناسل عند اللازهريات : الطحالب ، السرخسيات ، الأشنات ، الفطور . وبين سنة 1820 و 1850 ، تحققت اكتشافات عديدة وجيلة أدت من جهة الى تعميم النظرية الجنسية ، ومن جهة أخرى ، الى صياغة قانون هوفمستر Hofmeister حول تناوب الانسال .

ومنذ 1782 ، رصد هديغ جيداً التشكلات الجنسية الذكرية (المثيرات : أعضاء الذكورة في اللازهريات) والأنثوية (المبيضات : أعضاء الأنوثة .) في الطحالب . وبين أننا اذا زرنا البوغ أو أنثيرة نحصل على النبات . وفيما بعد أشار شميدل Schmidel ونيس فون ايزنبك Nees Von Esenbeck (1822) ، ويوشوف Bischoff (1828) الى التفاعيات (حيوانات مجهرية تعيش في السوائل) أو الأجزاء الصغيرة التي توجد داخل المثيرات . وكان للعالم الطبيعي الألماني أونغر Unger (1834، 1837) فضل اكتشاف « نقاعة » الحيوانات الذكرية النباتية لدى طحلب المنافع ثم لدى الطحالب الحزازية ولدى المارقتطيات (Marchantia) [نبات من طائفة الكبادي] . وبذات الوقت كان الانكليزي ش فارلي C. Varley يقوم بنفس الاكتشاف . أما معارفنا حول الأعضاء الأنثوية ، فإن

أعمال و. فالانتين W. Valentine (1833) وهوفمستر Hofmeister (1849) هي التي أقرتها .
وفي السلسلة الطويلة من المؤلفين الذين سبقت أعمالهم التركيب الكبير الذي وضعه هوفمستر ،
يجب أن نذكر ، وأن نضع في المستوى الأعلى تماماً ، ناجيلي Naegeli (1844) الذي وصف المشريبات
ومنويات السرخسيات ، ولشيك - سومسكي Leszczyc-Suminski (1848) الذي عرف الطبيعة الحقة
للأعضاء التناسلية عند السرخسيات ، وج. توريه G. Thuret الذي اكتشف منويات « الشارة »
(Chara) (1840) والايكيسيتوم Equisetum (1849) ، وتوريه ودوكين Decaisne (1844) اللذين
كشفا وجود منويات عند الأشنات البحرية من نوع « الفوكوس » (Fucus) .

هوفمستر وتناوب الأنسال - لم يكف هوفمستر بالقيام بدراسات تفصيلية رائعة ، بل حاشى كل
الوقائع المعروفة منذ هدويغ Hedwig ثم أوضح العلاقات العميقة الموجودة بينها . وبين التشابه
البنوي والوظيفي الموجود بين المثريبات والمبيضات في الطحلب وفي السرخسيات . وأبرز التماثل
الأساسي في تطور الجنين لدى كل من المجموعتين . وبعد ذلك فرضت فكرة تناوب الأنسال نفسها
عليه .

في كل دورة أنسال ، هناك انقطاعان ، مرحلتان : من الغيرة ذات الأصل اللاجنسي إلى
البیضة ، ثم من البیضة المخصبة إلى الغيرة . إن الأنسال الأول يحدث الأعضاء التناسلية
(المثريبات ، والمبيضات) والأنسال الثاني يولد الغيرات الكثيرة أو الخلايا الإنسالية .

وبعد أن امتلك هوفمستر بعض نقاط الإرتكاز الثابتة استطاع أن يقرر التشابه الكامل بين
دورات الطحالب والسرخسيات : إن الطحلب - النبات ذا الأوراق يتطابق مع المثيرة [الجهاز
المشيجي في اللازهريرات الوعائية] في السرخسيات ، وهو نصل صغير أخضر مجهول من الرأي
العام ، إن ثمرة الطحلب تساوي السرخسيات الكلاسيكية ، مع ما فيها من وريقات ومن أكياس
بوغ . إن العلم يكشف هنا - تحت مظاهر متنافرة تماماً ، سواء تعلق الأمر بالشكل أو بالمدة -
التماثلات العميقة .

وشجاعة ، تابع هوفمستر عمله الإنسالي : فبين أن الطحلبة النبتة المورقة ، والمثيرة في
اللازهريرات القنوية الوعائية والسوداء [نسيج مغذ في بذر النبات] في الصنوبريات هي مراحل
متشابهة . ورأى أن الصنوبريات والسيكاسيات [فصيلة من عاريات البزور] (المزودة بمبيضات
ومثيرات) هي حلقة وسيطة بين الكاريات (Characées) والطحليات واللازهريرات الأنبوبية من
جهة وبين كاسيات البزور من جهة أخرى (وهو حدث أثبت بشكل واضح وجلي اكتشاف الحيوانيات
المنوية لدى بعض عاريات البزور (سيكاس Cycas ، جينجو Ginkgo) من قبل عالمي النبات اليابانيين
ابكنو Ikeno وهيراس Hirase (1898-1902)) .

بعد أعمال هوفمستر ، يجب أن نذكر ، من بين الأحداث الأكثر بروزاً ، اكتشاف حالات
جنسية منحلة : « تخلق » بدون تلاحق الأمشاج في السرخسيات (فارلو Farlow 1874) ، « اندمام
البوغ » (aposporie) عند الحزازيات (برنغشم Bringsheim 1877) ، وفي كل من الحاصلين ،
تضطرب الدورات بعضق .

توريه، يرنفشيم (Thuret; Pringsheim) واكتشاف الإخصاب - ما هو الإخصاب؟ في سنة 1845، تساءل يرنفشيم كيف تتدخل الأعضاء الذكورية والأنثوية «مادياً» في عملية التلقيح. ومن الغريب، أن تتم الارصاد الحاسمة بهذا الشأن، لدى الاشنات، وهي نباتات دنيا كشفت جسانيتها من قريب (توريه Thuret ودوكين Decaisne، 1844). في سنة 1853 بين المتخصص في الاشنات الفرنسي، توريه ضرورة عمل المنويات في اخصاب الفوكوس (Fucus) [صف من الإشنة السمراء] (Varechs = فاريك) واستطاع الحصول، في بعض الحالات، على خلية تنشأ من تلاقح مشيجين (لاقحة)، مهجنة تتبع تطورها. ولكنه لم يعثر على ما يسمح له - حسب اعترافه - بالاعتقاد أن المنويات تسرب الى «البوغ»، كما كان «يعتقد بعض الرصاد بأنهم شاهدوا المنويات تدخل الى ببيضة الحيوانات».

والرصد المطلوب والمرجو سوف يكون من حظ يرنفشيم (Pringsheim)، في السنة التالية. توصل هذا المؤلف الى رصد مجرى العملية كاملة عند اشنات المياه الحلوة من نوع الأودوغونيوم Odogonium والفوشيريا Vaucheria. فاستنتج من ذلك المراحل الأساسية: تسرب الحيويين المنوي، تشكل حالي واني لغشاء يمنع وصول البويضة المخضبة الى أي حيويين منوي. إن ارصاد يرنفشيم Pringsheim قد اكملها ف. كوهن F. Cohn. في سنة 1866، قام بورنيه Bornet وتوريه Thuret بوصف الاخصاب الخاص جداً في الاشنات الحمراء.

الاخصاب عند ماديات الزهر (Phanerogames) - وسم الربع الأخير من القرن التاسع عشر بسلسلة من الأعمال الجيدة جداً والمتعلقة بهذه المسألة. فكانت في البداية، بين 1875 و1884، الاكتشافات المدوية التي حققها ادوار ستراسبورجر Edward Strasburger حول الطلع، والحق الجنيني، والإخصاب. ووصف هذا العالم العظيم بالخلايا تقسيم الخلية وتقسيم النواة.

وفي الوقت (1875) الذي نشرت فيه دراسات ستراسبورجر حول الانقسام الخلوي، أعلن و. هرتويغ (O. Hertwig) عن نتيجة ملاحظاته حول الإخصاب في عالم الحيوان، وبصورة أدق، اندماج النواة المنوية بنواة الببيضة. وقد دُرِس هذا الاندماج سنة 1883-1884، من قبل غوروجانكين Gorojankine وستراسبورجر، لدى النباتات ذات الأزهار. إن دور إحدى النواتين الذكريتين المنبقتين من أنبوب الطلع والموجودتين في الحق الجنيني قد توضح. أما النواة الأخرى، التي لا تندمج بالخلية - الببيضة (ببيضة غير ملقحة)، فتطرح أحجية سوف يحلها نافاشين (1898) وغينبار (1899) (Guignard)؛ أن النواة الثانية الذكر تنوب في النواتين الرئيسيتين في الحق الجنيني، لتشكل خلية ثانية فريدة أشد الفرافة، خلية تنمو في الألبومين، وهو النسيج المغذي للجنين.

وبين سنة 1883 و1887، عملت الأعمال الشهيرة التي قام بها العالم بالخلايا البلجيكي أ. فان بينندين E. Van Beneden، المثبتة من قبل بوفيري Boveri (1887)، على إقرار أن نواة الببيضة ونواة الحيويين المنوي تحتويان، لدى دودة «اسكاريس» نفس العدد من الصبغيات، وإن هذا العدد هو أقل بمرتين في الخلايا المنتجة منه في الخلايا الأصل التي تولدها. وبسرعة شديدة، رُصِدَت ذات الواقعة: النقص الصبغي (أو الإنقسام في الخلية) لدى النباتات، من قبل ستراسبورجر (1888)

وغينار (Guignard) (1889). في سنة 1893، تمكن ستراسبورجر أن يدخل بوضوح امتدادات أساسية على نظرية هوفمستر. وعندما جرى الكلام عن المرحلة «الميلودية» (Haploide) [وفيها تحتوي الخلية نصف صيغيات الخلية المخصبة]، بعد تناقص عدد الصيغيات إلى النصف، وعن المرحلة الازدواجية الصيغية [وفيها يتضاعف عدد الصيغيات في الخلية]، بعد اندماج نواتين.

الجنسانية عند الفطور. الطفيلية - لقيت نظرية الجنسانية المصاعب، في الفطور؛ وبعض هذه المصاعب ما يزال حتى اليوم لا يجد الحل المرضي. لا شك أنهم كانوا، في بداية القرن، غير مؤمنين «بالخلق الفجائي» في الفطور: ومنذ 1729، لاحظ ميشلي (Micheli) أن هذه الأجسام تتكاثر بواسطة «الحبوب»، وباللغة المعاصرة بواسطة البوغ أو الغُيَّيرات.

ولكن علماء كبار جداً في علم الخلايا أمثال و. بريفلد O. Brefeld وفان تيجم Van Tieghem، لم ينفكوا، في أواخر القرن التاسع عشر، ينكرون التكاثر الجنسي لدى الفطور العليا.

إن الجنسانية، عند الفطور، قد اكتشفت في بادئ الأمر لدى المجموعات الدنيا وإذا وضعنا جانباً الأرصاد الأولى التي قام بها اهرنبرغ (Ehrenberg) (1818) على العنفيات، فقط في منتصف القرن التاسع عشر. هناك ثلاثة أسماء طاغية حول هذه المسألة: الفرنسيان الأخوان تولان Tulasne، والألمانيان برنغشم Pringsheim وباري Bary. وأثبتت البحوث الواسعة بالضرورة والمقارنة التي قام بها هؤلاء العلماء، ضمن نفس الحركة ونفس الجهد ظاهرات أساسية في تعدد أشكال الفطور العليا والطفيلية، كما قدموا تعريفاً لها وللطفيلية، فمهّدوا الطريق أمام الاكتشافات اللاحقة حول جنسانية الفطور العليا.

وبين سنة 1847 و1854 كان الأخوان تولان، وبصورة خاصة لويس ريني صانعي التقدم الحاسم الحاصل قبل قيام أعمال باري المجيدة. لقد سار علماء الخلايا، بعد أن ماهوا بين البوغ والبويضات بتأثير من قوة الأفكار السابقة، في طريق مسدود. في سنة 1851 بين لويس ريني تولان أن الحقيقة هي شيء آخر مختلف ومعقد، أن نفس الخلية لدى الأكوميست Ascomycètes الطفيلية (الأريسييف Erisyph)، ومهماز الجودر (مرض نباتي، الخ.)، يمكن أن تعطي أنماطاً مختلفة من الغيبرات، وخاصة الغيبرات من النمط الكوزي أو القرني باعتبارها، في رأيه ذات طبيعة نباتية. وكان اكتشاف تعددية التشكل. وأصبحت أنواع مختلفة (مثل السكلوريتيوم كلافوس، سفاسيليا سيبيجيتوم وكوردي ليسبس بوربورا) مراحل (نباتية بالنسبة إلى النوعين الأولين أو توليدية) لنوع وحيد وواحد سماه Claviceps purpurea وهو النوع النافه المسمى مهماز النجيليات (أو الحبوب الوحيدة الفلقة). وكان لهذا الاكتشاف انعكاسات عميقة على تطور البيولوجيا وعلى علم تصنيف الفطور. ولكن المسألة بقيت أكثر تعقيداً، وسرعان ما تكتشفت عند دراسة الشقرانيات (فطور تشبه الصدا) وبخاصة حمرة القمع (Puccinia graminis). ودورة هذا النوع التي تعم على مضيفين مختلفين هما نبتة البربريس والقمح، وهي تتضمن غطين من الغيبرات على كل مضيف غلط، أي ما جمعه أربعة أنماط مختلفة. وكان العلماء يومئذ يعتقدون بوجود أربعة أنواع من الفطور، ولكن تولان بين الوحدة النوعية في الأنواع المسماة Aecidiolum وAecidium التي تعلق على البربريس، وكذلك وحدة

النوع في Uredo و Puccinia المعروفين على ورق القمح (1853-1854). ولويس رينيه تولان هو الذي اكتشف ، من جهة أخرى الأعضاء الجنسية لدى *Peronospora*.

إن هذه الفطور مشبيكات الأبواغ هي في معظمها طفيليات على نباتات ذات أزهار تنتقل إليها أمراضاً خطيرة مثل مرض العفان mildiou الذي يعيش على العريش ، ومرض البطاطا . وجمعت أعمال تولان في كتاب بقي كلاسيكياً ، مزود بالصور بشكل مدّش ، ولكنه للأسف غير مكتمل ، تحت عنوان : *Les selecta fungorum carpologia* (1857-1865) .

ومنذ 1857 استكملت أعمال تولان بملاحظات مهمة قام بها برنغشم Pringsheim على السبرولينا Saprolenia وهي بيضيات في التربة وفي المياه ظنها من الطحالب . ووصف أعضائها الجنسية فيماها أوغونات (أو أعضاء أنثوية) ومثيريات (أو أعضاء الذكورة) .

وقام آ. دي باري بإكمال أول لهذا المجلد الكبير من البحوث . فاكتشف (1863-1865) العلاقات القائمة بين فطر القمح وفطر البرريس ، وهما نوع واحد اسمه « بوكسينا غرامينيس » (Puccinia graminis) وأنواع هذا النمط تتطلب عدة مضيفين حتى تستكمل دورتها، وتسمى متباية المضيف Hétéroxènes ، وهذا المفهوم قد استخرج بمناسبة أنواع أخرى بفضل الأعمال الجليلية التي قام بها العلمان الفرنسيان كورنو وماركس M. Cornu .

واكتشف باري سنة 1861 عملية التماسل الجنساني في مشبيكات الأبواغ (الصناتيات : جنس من الفطور) : أن الأنبوب المثري يفصل بغشاء عن الخيط الذي أحدثه ، ويلتصق بعضو التأنيث ، المعزول بدوره عن الخيط ، ثم يثقب جداره . وبعد الإخصاب يتشكل بوغ أنثوي داخل الجراب الأنثوي .

والى باري يعود الفضل في تعريف وتقرير عملية التطفل (1863-1865) . وفي تلك الأيام لم يكن علماء النبات متفقين حول أصل الفطور الجذورية . ولكن رغم أعمال باستور ، استمر علماء ، حتى من المميزين أمثال ناجيلي Naegeli ، يعتقدون بإمكانية الخلق الفجائي أو كما كانوا يقولون بعملية التخليق المختلف (Hétérogénie) . وكانوا يفترضون أن الفطور تستطيع أن تولد من تلف النباتات المريضة . ومنذ 1807 استطاع رائد علم أمراض النباتات ، الجنيفي ب. بريفوست Prévost ، في « مذكرة حول السبب المباشر لتسوس أو تفحم القمح » أن يثبت أن المرض معد ، وحصل على توليد غبيرات لعدد من الجذور الطفيلية . ولكن الأعمال التجريبية التي قام بها باري على : الصناتيات (Périnosporales) والشراثيات (Urédinales) والسواديات (Ustilaginales) هي التي حددت بدقة نظرية التطفل وهي التي أدت إلى تصنيف الفطور كبرام [أي كحيوانات تعيش على العضويات البالية] أو طفيليات محتملة أو طفيليات ضرورية .

تلك كانت الأسس الأولى لعلم أمراض النبات الحديث ، ثم تلتها سريعاً الأعمال التي بقيت شهيرة ، وهي أعمال الفرنسي ميارديه Millardet الذي اكتشف العصيدة المنسوبة إلى مدينة بوردو الفرنسية (1879-1882) ، ففتح العصر الحديث بالنسبة إلى مبيدات الفطور ، وكذلك الأعمال ذات القيمة النظرية العالية ، أعمال هاري مارشال ورد Ward الانكليزي (1880-1881) .

ولم يكن باري مكتشفاً كبيراً فقط . فقد تتلمذ عليه علماء كبار من الطراز الأول أمثال الألماني و. بريفلد O.Brefeld أو الروسي م. س. ورونين M.S. Woronine . وإلى ورونين يعود الفضل في اكتشاف عظيم (1876)، اكتشاف الفطر المحاطي (Myxomycètes) وهو طفيلي يعيش على الملفوف (بلاسموديوفورا Plasmodiophora) .

وباري هو الذي افتتح الطريقة التجريبية في درس الزرع بقصد الحصول ، انطلاقاً من بوغ واحد بالذات ، على مختلف أنواع الفطور . وبعد أعمال باستور ، تطورت تقنية الزراعة الخالصة في المختبر ، بسرعة ، خاصة في فرنسا ، وكانت أبرزها الأعمال الجميلة التي قام بها ف. فان تيجم Ph. Van Tieghem ولويس ماتروشوت Louis Matruchot . ومنذ 1870 نجح جول رولين Jules Raulin أولاً في زراعة فطر « اسبرجيلوس نيجر » (*Aspergillus niger*) فوق وسط تركيبي . ومن الأعمال الأكثر بروزاً التي ظهرت في هذا المجال ، كانت أعمال نويل برنار Noël Bernard ، حول التفطر المتجذر من الداخل في نبات السحليات (Orchidacées) .

الفصل الخامس

النظريات التفسيرية حول التطور

يعترف التطور باستمرارية العالم الحي وباشتقاق الاشكال الحيوانية والنباتية من بعضها البعض بالتفرع . وتعود هذه الفكرة التي تتعارض مع ثبوتية الأنواع الى التراث الاغريقي القديم ؛ فقد فرضت نفسها ، تدريجياً ، على الأفكار ، ويمكن القول انها كانت مألوفة في القرن الثامن عشر (يراجع المجلد 2 ، القسم III ، الكتاب III ، الفصل I) ان واقعة التطور راسخة . وبخلال كل القرن التاسع عشر ، قدمت البحوث وقدم التشريح المقارن ، وعلم الأجنة وعلم الإحاثة ، مراهين جديدة تدل على ظاهرة التطور . وقد شاهد القرن التاسع عشر ولادة النظريتين الأولى التفسيريتين للتطور ، وهما نظريتان لم يُقَفَّ عليهما الزمن تماماً .

كان لامارك Lamarck تلميذاً لبوفون Buffon ، كبير دعاة التطورية ، فأسس النظرية التي تحمل اسمه « اللاماركية » . وفي منتصف القرن ، سوف يقترح داروين Darwin تفسيراً آخر سوف يغير وقعه الضخم كل الفكر .

I - اللاماركية (Le Lamarckisme)

لامارك (1744-1829) - ولد جان باتيست دي مونييه Jean Baptiste de Lamarck - كان ضابطاً وسرّح ثم جاء الى باريس حيث بدأ سريعاً بدراسة الطب والتاريخ الطبيعي . وتعلم على برنارد دي جوسيو (Bernard de Jussieu) ، ونشر كتاباً عن « النباتات الفرنسية » (1778) . والتفت اليه بوفون . وكلفه ببعض المهمات في الخارج قبل أن يسند اليه منصباً متواضعاً في بستان الملك (Jardin du Roi) . وفي سنة 1793 ، كلفته حكومة الكونفانسيون التي أسست « متحف التاريخ الطبيعي » بإعادة ترتيب مجموعات الحيوانات الدنيا . ولكي يفصل بين مختلف الأنواع لقي لامارك مصاعب كبرى

ربما كانت في أساس نظريته . كان حتى ذلك الحين من أنصار فكرة « ثبات الأنواع » ، وتوصل الى تصور تطوري ثَمَّاه فيما بعد في كتابه « الفلسفة الزوولوجية » (1809) .

التصور التطوري عند لامارك - كان عزل الأنواع المختلفة يطرح مشاكل جديدة . وافترض لامارك أن هذه الأنواع تنتقل فيما بينها ، وأنها لم تكن لتولد ولادة فردية منفصلة . إن النوع يمتلك استقرارية مؤقتة مرهونة باستقرارية المكان :

كتب يقول : « بمقدار ما تتغير ظروف السكن ، والعرض ، والمناخ ، والغذاء ، والحياة ... تتغير أوصاف القامة ، والشكل ، والتناسب بين الأجزاء ، واللون ، والتماسك ، والرشاقة والتعامل ، عند الحيوانات ، بالمقدار المناسب » .

إن تغيرات الوسط تحدث تحولات في الاحتياجات مما يجعل الحيوانات على اكتساب عادات جديدة « تدوم بدوام الاحتياجات التي ولدتها » .

كتب يقول : « ليست أعضاء الحيوان هي التي ولدت عاداته وقدراته الخاصة ، بل بالعكس إن عاداته ، وأسلوب حياته والظروف التي تلاقت فيها الأفراد التي أنجبته ، هي التي شكلت مع الزمن شكل جسمه ، وعدد وحالة أعضائه ، وأخيراً القدرات التي يتمتع بها » .

ومن الناحية التاريخية تتابع الأحداث : فيحدث تَغْيِير الظروف تغييراً في العادات ، مما يحدث بدوره تغييراً في الأفعال الذي يحدث ، بدوره ، تغييراً في الشكل . وأوضح لامارك نظريته بعدة أمثلة :

من ذلك أن الزرافة ، وقد اضطرت الى قضم أوراق الأشجار جهدت في الوصول إليها ؛ وهذه العادة المنتشرة منذ زمن بعيد لدى كل أفراد النوع ، أدخلت تعبيرات مفيدة على الشكل . فأصبحت القوائم الأمامية أطول من القوائم الخلفية ، واستطالت الرقبة بشكل كاف بحيث تصل الى ارتفاع ستة أمتار .

والطير الذي أجبرته الحاجة الى الغذاء فوق الماء ، يفرق بين أصابعه عندما يريد السباحة . واعتماد الجسم على التمدد ، وهكذا تشكل ، بفعل انتقال المفاصل من جراء التمرن المتكرر ، العديد من الأجيال ، صفاق الطيور المائية الراحي .

تقاتل الحيوانات المجتررة بضربات الرؤوس ؛ فأدت الصدمات الى تشكل نتوء قرني أو عظمي : « وفي غالبية ثورات الغضب التي كانت تصيب الذكور في أغلب الأحيان ، وكذلك فورات مشاعرها الداخلية تجذب السوائل بصورة أقوى نحو هذا القسم من رؤوسها ؛ وهنا يترسب ، بفضل افراز مادة عظمية ، مخلطة بمادة قرنية ، ما يولد نتوءات متينة صغيرة » .

تتضمن اللاماركية إذاً قاعدتين :

أ - الحاجة تولد العضو الضروري ؛ والاستعمال يقوي هذا العضو وينميهِ ، وقلة الاستعمال تسبب بالوهن ويزوال العضو غير اللازم .

ب - ان الصفة المكتسبة تحت تأثير الوسط تنتقل بالوراثة ؛ وإذا فالصفة المكتسبة هي وراثية . وترتكز النظرية على مسلمتين : الأولى ، تحاوب الجسم مع تغير الوسط أو العادة ، وبالتالي وجود قدرة على التكيف الذاتي المثبت بأمثلة قدمها لامارك ؛ والثانية ، وراثية الصفات المكتسبة .

انتقادات اللاماركية - لم تستجلب اللاماركية الحماس ؛ فقد كانت الأفكار غير مهيأة لفهم ولتقبل هذه الأفكار الجديدة . ثم إن صوت لامارك قد حنقه ما لكوفيه (Cuvier) من اعتبار ؛ وكان هذا فكراً إيجابياً وعقائدياً ، فدحض بلا مشقة نظريات لامارك الذي عاش معزولاً شيخوخته الطويلة والمجدة ، التي زادها العمى بلاءً . وكان كوفيه ينظر الى لامارك ناحته فيقول : « إن أحداً لم يؤمن بحطورة [وجهات نظره] فلم يرها تستحق المهاجمة » .

وكانت الانتقادات اللاحقة التي وجهت الى اللاماركية ، تنصب على مسلمتيه . إن الوسط يحدث أثراً غير منكور على الجسم ، وهذا الأثر يترجم باستجابة تكيفية . ولكن الجسم لا يتجاوب « دائماً » مع تأثير الوسط بتغير مفيد نافع . إن هذا التغير هو في أغلب الأحيان مطلق وبدون أية منفعة . فضلاً عن ذلك ، إن كل التجارب المراقبة من أجل التثبت من وراثية الخصائص المكتسبة قد أعطت نتائج سلبية .

هذا العشل التجريبي حطم اللاماركية ، إن لاوراثية الاستجابات التكيفية لتأثير الوسط ، تنزع عنها [عن اللاماركية] بذات الوقت كل قيمة تطورية . ولكن اللاماركين أجابوا أن التجارب قصيرة الأجل ، وان عنصر الزمن مهم جداً . فإذا كان تأثير الوسط يتم خلال آلاف السنين . فإن الاستجابة الشكلية الظاهرية ، أو الفيزيولوجية قد تصبح وراثية . ويمكن القول أيضاً أنه في الوقت الحاضر ، توصلت الأجسام الى حالة من الاستقرار ، بعد أن تلقت في الماضي تغييرات عميقة من خلال تكيفات متنوعة ومتعددة .

ورغم الانتقادات ، والدحض ، وفشل التجارب ، لم تخف اللاماركية تماماً . كان العديد من علماء الطبيعة من أنصار لامارك رغم كل شيء واستمروا يؤمنون بأن للوسط تأثيراً مباشراً على الكائن الحي ، وليس تأثيراً غير مباشر بواسطة الانتقاء . وكانت التجربة ضد انتقال الخصائص المكتسبة ، ولكن هل الأمر هو كذلك دائماً في الطبيعة ؟ ثم إذا كانت اللاماركية صحيحة ، فإنها تعطي تفسيراً بسيطاً ومغرياً لمختلف الأحداث البيولوجية ، ومنها مثلاً البنية الهندسية للعظام . والشنات [الخشونات] الموروثية ، وكفاف [عمو] الحيوانات المكثفة . . . الخ .

اللاماركية الجديدة - في أواخر القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين عرفت اللاماركية أو بالأحرى اللاماركية الجديدة ، نجاحاً عجبياً ، على الأقل في فرنسا حيث تولى آل جيارد (Giard) وأ. بره E. Perrier وج بونيه G. Bonnier ، ولو دانتك Le Dantec وكونستانتين Constantin ، وف. هوساي F. Houssay الدفاع عنها . وكان أ. جيارد ، وهو البطل المدافع عن هذه القضية ، يرى أن العوامل اللاماركية ، وإن أثر الوسط ، هي العوامل الأولى والأساسية في التطور ، وإن الانتقاء لا يلعب إلا دور عامل ثانوي . وقدم اللاماركيون المغالون تفسيرات ، على الأقل غير معقولة : من ذلك كتب ادوار بره Ed. Perrier يقول :

«كان الديبلودوكوس [ثعبان ديناصوري برمائي منقرض] (Diplodocus) يمشي على الأرض المغطاة بنبات ملتف كثيف يضطر الحيوان إلى شق طريقه فيه. وعملت مقاومة النبات على دفع جسده إلى الوراء، وإطالة رقبته، وذيله، المسوك بالأغصان التي تتسكع وراءه، قد استطال بدوره، من جراءها» (الحياة وهي تعمل، 1921، ص 210).

في الثلث الأول من القرن العشرين ظهرت نظريات صغيرة قريبة نوعاً ما من اللاماركية الجديدة. وكانت قيمتها التفسيرية ضعيفة، من هنا كان وقعها النافذ.

II - الداروينية (Darwinisme)

شارل داروين (Darwin) (1809 - 1882) وعمله - ان النظرية الثانية الكبرى في القرن التاسع عشر هي نظرية داروين.

كان شارل داروين حفيد العالم البيولوجي آراسموس داروين، مؤلف كتاب «زونوميا، أو قانون الحياة العضوية»، (مجلدان، لندن، 1794-1796)، وهو مزيج من التصورات النظرية الذكية، ومن الخيالات الميتافيزيقية، التي لا تخلو من بعض التشابه مع تأملات لامارك؛ كان في الثانية والعشرين، بعد دراسته في كمبريدج، عندما ذهب، بناء على نصيحة معلمه العالم النباتي هنسلو، بصفة عالم نباتي، على سفينة «البيغل» (Beagle)، التي كانت تستكشف أميركا الجنوبية وبعض جزر في الباسيفيك. ودامت الرحلة خمس سنوات (1831-1836)؛ وكان لهذه الرحلة تأثير حاسم على أفكار داروين الذي كان حتى ذلك الحين من أنصار نظرية نبات الأنواع، ككل علماء الطبيعة في عصره. وعندما عاد إلى انكلترا تزوج من ابنة خالته أ. ودغود (1839)، وبعد 1842 أحبرته صحته المتدهورة على ترك لندن والإقامة في الريف، في داوون، في مقاطعة كنت. وكرس نفسه لدراسة المجموعات التي جلبها من رحلته. ومات في 19 نيسان 1882 ودفن في وستمنستر.

كان يتمتع بموهبة طبيعية للرصد والمراقبة، وقد لفته، أثناء هذه الرحلة حول العالم عدد من الوقائع. ولاحظ، وهو ينتقل من الشمال إلى الجنوب، تبديلاً بين الأنواع المتحالفة. ولاحظ تنوع واستيطان جزر غالاباغوس المختلفة، كما لاحظ الفرق بين سكان أميركا الجنوبية والجزر القريبة من هذه القارة. وشاهد علاقات القرى بين الثدييات العديدة الأسنان الحية، وبين الثدييات من الأنواع البائدة الموجودة في الطبقات البامية. وبحث له كل هذه الوقائع، بعد درسها بكثير من الإهتمام والدقة، متافرة ومتعارضة مع المذهب الببوي. وتصور عندها النوع لا كوحدة ثابتة، ناتجة عن خلق كيفية تحكمي، بل كمتنوع متدرج وبصورة خاصة في الأماكن المعزولة. وكانت قد وضعت فرضية تطور تدريجي يصيب الأشكال الحيوانية؛ وعندها أخذ يبحث عن الآلية الممكنة لهذا التطور. وعثر على هذه التنوعية لدى الحيوانات الأليفة والنباتات المغروسة؛ إن أهمية التغيرات لم يكن مشكوكاً بها، وعرف كل المربح الذي ينجح المربون والزراع من عملية الانتقاء الاصطناعي، أي من الانتقاء الدقيق للفسائل. ومن أجل تحليل أفضل لهذه التغيرات، أخذ يربي بنفسه الترغل.

وقد تأثر دارون بكتاب مالتوس الشهير « تجربة حول مبدأ السكان » (لندن 1798) تأثراً كبيراً . لقد بين العالم الإقتصادي الانكليزي في كتابه المذكور التفاوت القائم بين نمو السكان ونمو الموارد الغذائية ، وهو تفاوت ينتج عنه الكثير من المآسي ، ومن الصراعات من أجل الحصول على الغذاء ، أما النصر فيعود الى المتمتعين بمكاسب لا تتوفر لغيرهم . وهكذا وُلدت فكرة الصراع من أجل الحياة وفكرة الانتقاء الطبيعي .

« أصل الأنواع » - كانت هاتان الفكرتان موضوع تفكير وجهود داروين طيلة سنوات طويلة . وكان يجمع ويحلل مواد كثيرة من أجل نشر كتاب جامع حول هذه المسألة المهمة ، وكان يناقشها مع أصدقائه ومنهم العالم النباتي سير جوزف هوكر ، ومع العالم بالحيوانات توماس هوكسلي ، ومع العالم بالآثار سير شارل ليل . ومنذ 1842 و 1844 ، حرر أول عرض لأفكاره ولم ينشره⁽¹⁾ . وأرسل اليه الفريد روسل والاس ، سنة 1858 ، وهو عالم طبيعي انكليزي متجول في ماليزيا ، مذكرة عنوانها « ميل الأنواع للانطلاق بشكل لا محدود ، من النمط الأصلي »⁽²⁾ ، وفيها تجل بتوسع مبدأ الانتقاء باعتباره أساساً في تنوع الأنواع . وأدى صبر دارون الطويل في النهاية الى انيبار جهوده الشخصية وبناءً على نصيحة ليل وهوكر ، نشر دراسة موجزة عن نظريته ، قدمت وقرأت بذات الوقت مع دراسة والاس ، في جلسة عقدتها الجمعية اللينية (Linn. Soc.) في لندن في أول تموز سنة 1858 .

وكرس دارون نفسه يومئذ لكتابة عرض مختصر للكتاب الكبير الذي كان بعده ، والذي صدر في لندن في تشرين الثاني سنة 1859 تحت عنوان « حول أصل الأنواع ، بواسطة الانتقاء الطبيعي » وقد اعتبر هذا الكتاب الثوري أحد معالم المراحل الأكثر أهمية في تاريخ البيولوجيا .

وهذه هي الخطوط الكبرى للداروينية : ان تغيرات شروط المكان تحدد تنوع الكائنات الحية ، من خلال تأثيرها اما على الجسد وإما على الخلايا المولدة . وميز دارون التغيرات المحددة والتي هي متشابهة لدى كل الأجسام العضوية المتبدلة ، وبين التغيرات غير المحددة والتي تحدث وتتغير بين فرد وآخر . ان كل فرد هو في حالة تنافس مع أشباهه . في هذا الصراع من أجل الحياة تلغى وتعدم التغيرات المضرة . وبالمقابل يستمر الأفراد الذين ينقلون التغيرات المفيدة ويورثونها الى أحفادهم . هذه الاستمرارية في الأشكال الفضل تتوافق مع نوع من الغريزة ، أو الانتقاء الطبيعي يؤدي الى بقاء الأصلح والأكثر كفاءة . فالتطور إذاً رهن بالتنوع والمنافسة ، وفيها بعد أضاف دارون الى نظريته مبدأ الانتقاء الجنسي ، فالذكور يصارعون من أجل الحصول على الاناث ، ويتنصر الذكور الأجل والأقوى فينجبون وحدهم . ويختار الاناث الذكور الأجل .

وتابع دارون ، بدون هوادة ، جهده ، فنشر بعدها سلسلة من الكتب⁽³⁾ أمنت له مكانة عز

(1) نشر هذا النص سنة 1909 ، بمناسبة مرور مئة سنة على ولادة داروين ، من قبل ولده فرنسيس داروين ، وترجمه الى الفرنسية آ. لامير Lameere ، (داروين ، باريس 1922) .

(2) هذه المذكرة الموجزة نشرت في مجلة الجمعية اللينية ، في لندن-1859 p. 53-62. Zool. 1859 t. III; J. Proc. Linn. Soc. 1858, (3) Zoology of the voyage of H. M. Ship Beagle (1840- 1843); Variations of Animals and Plants under domestication (1868 trad. fr. 1869);...

نظيرها في بيولوجيا القرن التاسع عشر .

الاستقبال الذي لقيته الداروينية - كان لنظرية دارون دوي ضخمة ، كانت واضحة ومنطقية ، وبدت كأنها تقدم تفسيراً كافياً لكل الأحداث . وكان نجاح كتاب « أصل الأنواع » مباشراً . ونفذت الطبعة الأولى وعدد وحداتها 1250 خلال أسبوع . وصدرت طبعات جديدة وترجمات أخذت تتوالى بسرعة (وترجم الكتاب الى الفرنسية منذ 1862 من قبل كليمانس روييه) . ولكن قامت في فرنسا وحتى في انكلترا مناقشات حادة . وكانت تدور حول « أصل الأنواع » وأيضاً حول « نسل الإنسان » (The Descent of Man, and Selection in relation to sex) (مجلدان ، لندن ، 1871 ، ترجمة فرنسية ، باريس ، 1872) .

وقد أثارت نظرية أصل الإنسان ، وتوسعها المحتمي رجال الدين . وانطلقت المناقشات الحادة والمفرقة . ورد هوكسلي على الأسقف الانجليكاني ولبرفورس بقوله : أنه يفضل أن يكون « قرداً يتكامل من أن يكون آدمياً يتقهقر » .

وفي فرنسا حوربت أفكار داروين بعنف من قبل فلورانس الذي لم يكن يعتبر الانتقاء الطبيعي كطرح موضوعي وليد التجربة . أما أ. دي كاترفاج وهـ. ميلن - ادوار فقد اكتفيا بانتقادات معتدلة . وهذه المعارضة انعكست على أكاديمية العلوم التي عارضت عدة مرات انتخاب دارون ، والذي لم ينتخب كمراسل لها إلا في سنة 1879 ، في قسم علم النبات . وانضمت بعض الشخصيات الى الحركة التطورية ، وخاصة عالم الإناسة بروكا ، والعالم بالمتحجرات آ. غودري . وكان العالم النباتي نوبين ، منذ 1852 ، قد وضع أفكاراً قريبة من أفكار دارون ، وذلك قبل انتشار الداروينية ، حين صرح أن الطبيعة قد أوجدت الأنواع كما نضع نحن أشكالاً متنوعة انطلاقاً من عدد محدود من الأنماط الأساسية ، إنما في إطار غائية عامة سماوية (وهو مفهوم عبر عنه في انكلترا أوين ، خصم فكرة الانتقاء الطبيعي) ، وعلى أساس اشتقاق الأنواع بعضها من بعض وفقاً لخطة مسبقة ، وبناء على تغيرات مفاجئة .

وفي ألمانيا كان الانضمام الى الداروينية سريعاً وعاماً ، رغم وجود بعض المعارضين . ومنذ 1864 ، نشر عالم بالحويان ، ألماني مهاجر الى البرازيل ، اسمه فريتز مولر كتاباً بعنوان « الى دارون » وفيه يقول ، بناء على بحثه حول نمو القشريات ، بأن المراحل المتتالية في حياة الجنين تعكس مراحل التطور في الماضي . وهذا المفهوم سوف يلاقي تجاوباً قوياً من قبل أرنست هايكل (1834- 1919) وهو استاذ في جامعة ينا . وكان من أنصار الداروينية الأكثر حماساً عبر سلسلة من الكتب ، « عرفت نجاحاً كبيراً وانتشاراً واسعاً » .

الداروينية الجديدة - بخلاف السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ارتدت المناقشات التحولية مظهراً جديداً أطلق عليه اسم الداروينية المثالية . وكانت أفكار دارون بومئذ قد بلغت أقصى مداها

(1) Generelle Morphologie der organismen (2 vol. Berlin 1866) . Natürliche schöpfungsgeschichte (Ber

lin , 1868 . Trad. fr. Histoire de la création des êtres organisés . Paris 1874) .

Anthropogenic (Leipzig , 1874)

بفضل الداروينيين الغلاة وبصورة خاصة ويزمن واللاس . فقد قبِلَ بكل نظرية دارون ، باستثناء فكرة لامارك حول وراثة الصفات المكتسبة . وأعطيا لانتقاء فعالية كاملة . ولكن ، ومن أجل تثبيت الانتقاء ، كل صفة يجب أن تكون نافعة . وحاول والاس أن يثبت هذه الإفادة دون أن يخشى أحياناً المبالغيات التافهة .

أما الزوولوجي الألماني أوغست ويزمن (1834-1914) ، فلم يكتف فقط برفض وراثة الصفات المكتسبة بل اعتبرها كمستحيلة . ول هذه الغاية ، قطع ذيل فئران عند الولادة طيلة عدة أجيال ، فلاحظ أن الصغار تولد دائماً ولها ذيل . ولتفسير عدم وراثة الصفات المكتسبة أطلق كمعتقد ، على أثر نظريته الشهيرة حول استمرارية البلاسما المولدة (1883) قسمة الجسم المتعدد الخلايا إلى قسمين السوما والجرمين . أما الجرمين فلا يتلقى أي تأثير من الجسم أو السوما الذي يشتمل عليه . والسوما والجرمين مستقلان تماماً عن بعضهما البعض . وكل تغيير يحصل بسبب داخلي كامن وقائم في الجرمين . أما التغيرات السوماتية فليس لها أية قيمة تطورية . وهذه التغيرات لا تؤثر في الجرمين وليست وراثية . إذاً ، العضو الضار يستبعد بفعل الانتقاء ، في حين لا يعمل الانتقاء على أي عضو غير مفيد : من هنا استمرارية العضو غير المفيد . وسمى ويزمن هذا التوقف عن الانتقاء « بانميكسي » (Panmixie) . وهذه الفرضية التي قال بها ويزمن تشكل الداروينية الجديدة الـ «اليزمينية» .

وقد أشرنا إلى الانتقاء المدهش بين أفكار دارون وأفكار والاس ، اللذين عثرا بذات الوقت على مبدأ الانتقاء الطبيعي . ومن بين سابقي دارون ، يرى اسم العالم الطبيعي الهاوي روبرت شامرز الذي نشر باسم مستعار كتاباً تحت عنوان « آثار الخلق الطبيعي » (1844) . وفي هذا الكتاب تُعرض فرضية التطور بمهارة . إن الرايين الرئيسية المؤيدة للتطور والتي طرحت فيها بعد قد سبق ذكرها . وأنه تيار لاماركي تضاف إلى تأثير المكان فيه مشيئة « إلهية » .

بعض التيارات المتشعبة . - يجدر أيضاً أن نشير إلى بعض المفاهيم النظرية المتعلقة بالتطور والتي لم تتجاوز مرحلة القول . إن العالم الألماني كارل ناجيلي K Naegeli ، مؤلف « نظرية الميكانيك الفيزيولوجي في التطور » (Mechanisch-physiologische Theorie der Munich (1884)) يمزو تحقيق التطور إلى قوة تحريرية تهدف إلى الكمال وتعمل في إطار كل شكل حي ، وأصدرت . إمير T. Eimer (Die Entstehung der Arten, 3Vol. Iéna . 1888-1901) أفكاراً مماثلة ، مع اعترافه بالأثر الفعال للعوامل الخارجية مثل النور والحرارة والغذاء .

إن التطور ، بحسب رأيه ، يتم وفقاً لتوجيهات عديدة ، وهذا ما يعبر عنه بكلمة أوروجينيز « Orthogenèse » [ortho = مستقيم Genèse = توليد تخليق (الترجمة)] أو « التكون القويم » . وعزا العالم الحيواني د. روزا D. Rosa (1918-1900) ، هو أيضاً ، تحقق التطور ، كتحقق الاختلاف والتفارق ، أثناء النمو الفردي ، إلى قوى داخلية ، وسمى نظريته أولوجينيز (ologenèse) [مر holo كامل ، وجينز : توليد تخليق] .

من كل هذه الوقائع ، يبدو بوضوح أن التطور كان الموضوع الرئيسي في البيولوجيا (علم الإحياء) في النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

أصول علم الوراثة

إن الأعمال المجيدة ، التي لم تجد صدقاً لها عند ظهورها ، بخلاف القرن التاسع عشر ، ارتدت كل معانيها في مطلع القرن العشرين ، وشكلت أسس علم جديد اتسع وتضخم وكان له أهمية ضخمة هو علم « الجنتيك » أو علم الوراثة . ويجدر التذكير هنا ، بالأعمال التي تناولت بشكل أساسي الإحصاء (البيومتريا) كما تناولت التلاقي بين مختلف أشكال النوع الواحد .

بدايات البيومتريا أو علم الإحصاء الإحيائي . - إن الدراسة الإحصائية للتغيرات التي تصيب مجموعات الأفراد أو الجماعات ، داخل النوع الواحد ، قد افتتحت من قبل الفيزيائي والاحصائي البلجيكي آ . كيتيل A. Quetelet (1796- 1874) . فقد درس مثلاً التغيرات في القامة عند مجموعة من الأفراد في النوع البشري (« الأنثروبومتريا » [علم الإحصاء البشري] . . . باريس 1871) ، ومثل هذه التغيرات بمنحنى سماه « متعدد الأوجه التواتري » . وكانت محاور سينات (أبسيس) هذه المنحنيات تتوافق مع القيم العددية لمختلف القامات ، أما المحاور العامودية (أوردون) فتمثل عدد الأفراد ، أو كما يقال التواترات . هذا المنحنى ذو المسار المنتظم يمثل ذروة تقع عند محور السينات ذي التواتر الأقصى . ونعثر على منحنى مماثل في كل الإحصاءات التي تتناول ، بصفات متنوعة ، جماعات متجانسة ، لدى الأنماط الأكثر تنوعاً من الحيوانات أو النباتات . هذا المتعدد الأوجه التواتري ، المتسع لمجموعات أفراد تزداد اتساعاً ، حتى اللانهاية ، يميل ليصبح منحنياً مستمراً أفقياً ، يسمى « المنحنى العادي » أو منحنى غوص Gauss ، ومعادلتها هي التالية :

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

باعتبار σ الانحراف المعياري .

وحول كل المظهر ، الرياضي ، لهذه المسألة ، راجع أيضاً دراسة ج . دارمو G. Darmais . القسم I ، الفصل III .

ومن بين الأعمال التي تدخل في هذا النمط نذكر أعمال النباتي الألماني و. جوهنسن W. Johannsen (Elemente der exakten Erblichkeitslehre، طبعة ثانية، يينا، 1913) التي جرت بشكل خاص حول التغيرات في اللون، في جهمرة من حبوب الفاصوليا المنبثقة عن حبة أصلية واحدة، ودرست على سلسلة من الأجيال المخصصة تخصيصاً ذاتياً. وهذا ما يسمى بالسلسلة النقية. إن أعمال جوهنسن قد حددت بشكل نهائي التقنيات البيومترية، وأتاحت تمييز الخصوصيات النمطية الظاهرية المتعلقة بأثر الظروف الخارجية والخصوصيات الوراثية النوعية والمتوافقة مع التكوين الوراثي.

وقام مؤلفان إنكليزيان ف. غالتون (الوراثة الطبيعية، لندن، 1889) وك. بيرسن (1857-1936) بأعمال مهمة تناولت بيومتريا النوع البشري من خلال دراسة التغيرات التي ظهرت على أطراف نفس العائلة خلال أجيال متتالية. إن البيومتريا تبدو هكذا كدراسة إحصائية تتناول التنوع الفردي.

التجارب حول التهجين.. وهناك تقنية أخرى، يمكن أن تندمج بالتقنية السابقة، هي دراسة التغيرات المحدثة بفعل تزاوج الأفراد من نوع واحد، ولها خصائص وراثية متميزة، مثال ذلك عدة أشكال من نوع واحد أو عدة أنواع مختلفة تتزاوج. هذا التزاوج يولد المهجنات. والمهجنات من أنواع مختلفة، تكون في أغلب الأحيان عقيمة. من ذلك البغال الناشئة عن تزاوج حمار وقرس. والمهجنات من تشكيلات مختلفة من النوع الواحد، هي على العموم خصبة، وعليها يمكن إجراء الإحصاءات البيومترية المتعددة والواسعة. إن البحوث من هذا النوع قد بدأت في القرن التاسع عشر ولكنها لم تأخذ كل مدامها إلا في مطلع القرن العشرين.

إن القرن الثامن عشر قد اتسم بسلسلة من الأعمال حول تهجين النباتات، وخاصة أعمال كولروتر وو. هيرت وش. ش. سيرنكل وآ. نايت.

في القرن التاسع عشر درس عارنتر العديد من مزوجات النباتات المختلفة. وفي فرنسا أجرى ساحريه، منذ 1825 مزوجات متعددة بين أنواع من الشمام أو البطيخ الأصفر «كانتالو» و«شاني». ودرس اندماج الصفات في نمطين من المهجنات (1). ولكن البحوث من هذا النوع سوف تأخذ أهمية خاصة بفضل الأعمال المتزامنة - إذ نشر كل منها أعماله سنة 1865 - لكل من العالمين النباتيين شارل نودين الفرنسي (1815-1899)، والآخر، في برون (اليوم برونو) في مورافيا، وهو الراهب غريغور مندل (1822-1884).

أعمال نودين.. في بستان البساتين في باريس اهتم نودين كثيراً بمسألة النوع. ويبدو أنه قال في بادئ الأمر بتحولية محدودة (1892). وقد اعتبر، مثل كورنو (محاولة حول أسس معارضا، 1851) أن عملية انبات الأشكال اصطفاًياً قد تعلمها الإنسان من خلال تطور الطبيعة البرية. إن الإنسان في

(1) عدا عن المجريين السابقين على مندل والكلاسيكيين، يجب أن نذكر طبيباً قلياً عُرف، هو الصيدلي السويسري ج. آ. كولادون (1755-1830) الذي أجرى، قبل 1829 مزوجات بين الفئران الرمادية والبيضاء وحصل على نتائج رائعة بالنسبة إلى عصره.

النهاية يجري عملية غربلة عقلانية للأفراد الذين يتحرفون عن النمط التوعي الخاص ، وفي نهاية عدد كبير من الأجيال ، يحصل على النوعية الثابتة أو على النوع الاصطناعي . وابتداءً من سنة 1856 أجرى نودين تهجينات بين الأنواع في عدد عديد من النباتات (ليناريا ، داتورا ، نيكوتانيا ، الخ) ، فحاول ، ولكن عبثاً ، الحصول على أشكال جديدة ومستقرة .

أقد حرت بحوثه في ظروف صعبة . ولكنها مكنته من رسم بعض أطر المندلية : وحدة الشكل عند المنهجيات من الجيل الأول (F₁) ، وحدة المزاوجات المتبادلة (مهما كان جنس المولّد) ، العودة الى أنماط القرى (وهو أمر أثبتته على البواكير منذ 1856) ، اختلاف الأجيال (F₂) وما يليها (عندما تكون الأجيال (F₁) خصبية وملقحة ذاتياً) . وبعد أن قرر هذه الوقائع ، التي كانت معروفة نوعاً ما قبله ، وأحياناً متنازعاً بها ، ندّد نودين جهده في فهم معناها العميق . وعندها توصل الى وضع الفرضية التي سماها باتيسون Bateson فيما بعد نقاء « الغاميت » (أي الخلايا المنتجة المولدة) . وتكلم نودين عن « عدم اتصال رحيقين خصوصيين داتين في الغُيْرة وفي بويضات المهنجات » . واعتبر الغبيرة والبويضة ، اما من النمط الأبوي أو من النمط الأمومي . وبين « الغامات » الذكورية و « الغامات » الانثوية من النمط الواحد يكون التخصيب شرعياً ، ويتجلى بالعودة الى أحد الجدود .

غريغور مندل وقوانين الوراثة .- بين سنة 1858 و1865 ، انصرف مندل ، في بستان ديره في برنو ، الى نفس البحوث التي كان يقوم بها نودين ، ولكنه سار الى أبعد . واثبت يعود ، بدون منازع ، بفضل اكتشاف القوانين الأساسية في الوراثة . كان صاحب فكر رياضي ، وكان يعمل ، لحسن المصادفة ، على مواد دراسية مساعدة للعناية - لم يتم تحليلها تحليلاً عقلانياً إلا بعد قرن من الزمن - وعرف مندل كيف يعطي هذه القوانين صيغة دقيقة ونهائية .

واختار غير الأنواع ، سلالات ثابتة تماماً ومغصبة تخصباً ذاتياً ، من نوع يسمى « بيزم ساتيفوم » أو الحمص القابل للأكل . وأخذ في بادئ الأمر يسعى من أجل الحصول على سلالات نقية وثابتة ، من خلال زراعات عادية يقوم بها بصورة مسبقة ، ثم يضع ، بصورة منهجية ، جانباً ، الحبوب التي تعطيها كل نبتة . ثم زواج ، اثنين اثنين ، بين هذه السلالات ، بواسطة التلقيح الاصطناعي . وهكذا مزج اثنين اثنين أشكالاً متنوعة ذات فروقات دقيقة (حبوب ملساء × حبوب مجعدة ؛ زلال (البومين) أصفر × زلال (البومين) أخضر ؛ زهرة بيضاء × زهرة ملونة ؛ قرن مستقيم × قرن وحيد الشكل ؛ أزهار قاعدية × أزهار أطرافية ؛ جذوع قصيرة × جذوع طويلة) .

في كل من هذه المزاوجات ، حصل (مثل نودين) على جيل أول (F₁) وحيد الشكل ، يتج واحداً من الشكلين الأبوين . وبالنسبة الى الأجيال اللاحقة (F₂،F₃،F₄) ترك التلقيح الطبيعي يأخذ مجراه . ولكنه في F₂ حصل بشكل منتظم على $\frac{3}{4}$ من النباتات التي تظهر بمظهر واحد من الأنماط الأساسية وربع النباتات من النمط الآخر عاد الى الظهور في حين بدا مستتراً في الجيل F₁ . وتقول ان النمط الظاهر في F₁ هو غط مسيطر (D) . أما النمط المستتر في F₁ ، عندما يظهر في F₂ فإنه يكون متنحياً (f) . بعد الحصول ، انطلاقاً من الحبوب F₂ ، عن طريق التلقيح الذاتي ، على جيل F₃ ، نلاحظ أولاً : أن ثلث ساتات F₂ المسيطرة لا تنتج حصرياً (100 %) إلا نباتات من النمط المسيطر (D) ، ثانياً : ان

الثلاثين الباقيين من النباتات (F_2) المسيطرة تفرق عند (F_1) بمعدل $\frac{1}{4}$ عن نباتات (D) و $\frac{3}{4}$ من نباتات (r). ثالثاً: إن النباتات F_2 المتحية (r) تعطي عند F_3 ، مئة بالمئة من النباتات المتتية (1).

إن مجمل هذه النتائج يُفسَّر، كما استنتج مندل، بالإفترض أنه، في النباتات F_1 المهجنة، تكون الغامات [جمع غامة] [أو الخلايا الخصبية] متساوية، من النمط النقي من أحد الأبوين الأساسيين (p)، وتزاوج بحسب المصادفة. هذا القانون حول نقاء الغامات (صفة واحدة في كل زوج، في الغامة الواحدة)، صاغه، من جهته نودين، إلا أنه هنا قد تركز على معطيات إحصائية دقيقة.

إن المزاوجات DD أو rr تسمى وحيدة اللواقع، أما المزاوجات بين غامتين مختلفتين فتسمى مختلفة اللواقع، والمزاوجات المتنوعة من غامات F_1 تعطي، بالنسبة إلى F_2 : DD واحد واثنين من Dr و rr واحد، أي 25% DD (المسيطرة وحيدات اللواقع) و 50% Dr (المسيطرة مختلفة اللواقع) و 25% rr (متتية وحيدات اللواقع)، وهذه الأخيرة وحدها تنتج الشكل المتتية الأساسي.

فضلاً عن ذلك قام مندل بتجارِب مشابهة، فزواج عن طريق التخصيب المتصالب، أرومات نقية مختلفة فيما بينها، بصفتين أو ثلاث أو أربع صفات مذكورة أعلاه، ودلته التجربة، أنه، في هذه التصيليات، ينتقل كل زوج من الصفات وفقاً لنفس القوانين، كما لو كان هو الوحيد المعني؛ مما يعطي، في F_2 ، وبالنسبة إلى مزدوجين من الصفات (ab, AB) ستة عشر مزيجاً تظهر بأربعة أنماط نسب: $AB : 9$ ، $Ab : 3$ و $aB : 3$ و $ab : 1$. وبالنسبة إلى مزدوجات ذات ثلاث صفات مجتمعة ($A,a.B,b.C,c$) فنحصل على 64 مزيجاً تظهر في F_2 ، بنسب $ABC : 27$ ، $AbC : 9$ ، $ABc : 9$ ، $abc : 1$ ويمكن التعميم بالنسبة إلى مزايج ذات عدد أكبر من الصفات.

وإذا تحليل النتائج التي حصل عليها مندل على أنه في تزاوج الأعراف التي تختلف فيما بينها بمزيتين على الأقل، يمكن أن تتولد أعراف جديدة مستقرة (إدماجات جديدة وحيدة اللواقع).

ونقدم هذا التفصيل لأنه ينتج عنه عنصر رئيسي بالنسبة إلى قوانين الوراثة عند النباتات وعند الحيوانات؛ عنصر سوف يظهر بالشكل الأوسع والأكثر أمانة، مع بداية القرن العشرين: الاستقلالية في نقل مزدوجات من السمات. وحول هذه النقطة، قد توحى استنتاجات نودين بأن الانفصال لا يلعب إلا بين الجوهريين الذاتيين المجتمعين بصورة مؤقتة في المهجن، والمنفصلين ككتل عند تشكل الغامات.

وتوصل مندل من هذا، بعد أن بين استقلال السمات، إلى وضع وجود الوحدات الوراثة، أي العناصر الحاسمة المحددة، داخل الخلية الانثائية (المولدة)؛ لأن الوجود الموضوعي والمادي

(3) وهذه بعض الأرقام من تجارب مندل هذه: تزاوج بين حصص أصفر (D) × حصص أخضر (r) في (F_2)، من أصل 8023 حبة هناك 6022 صفراء (D) : 2001 خضراء (r). ومن تزاوج حبوب ملساء (X) × حبوب مجعدة (r)

في (F_2)، من أصل 7324 حصة : 5474 ملساء (D) : 1850 مجعدة (r)

هذه الوحدات بدا له كضرورة نظرية . وبعد خمس عشرة سنة ، ثبت اكتشاف الصبغيات (كروموزوم) هذا الاستباق الباهر .

وبعد 1865 ، قام مندل ببحوث أخرى حول نبتة مختلفة ، ولكن يدخل في إنسالها ، كما عُلِمَ فيما بعد ، عمليات تكاثر لا جنسائي [تحتوي = عديم الجنس] أعطى وحجب القوانين العددية السابقة .

وكان من الطبيعي ، بصورة أفضل ، أن يكون لأعمال بهذه القيمة وبهذا الوضوح دوي مباشر ولكن ، لم يحدث شيء من هذا ، فسقطت في النسيان . واطلع مندل على أعمال نودين ، كما يتحصل من أحد رسائله إلى ناجيلي . وبدأ نودين - المعروف تماماً بفعل صممه شبه الكامل - وكأنه لم يعرف أبداً مندل . وهناك سلسلة كاملة من العلماء الطبيعيين المهتمين بمسائل الوراثة أمثال داروين ووايزمن وي . ديلاج ، الخ . كانت تجهل تماماً إنجاز مندل . وهو إنجاز لم يخرج من الظل إلا سنة 1900 ، لكي يعرف يومئذ نجاحاً وانتشاراً باهرين⁽¹⁾ .

مفهوم النوع والتغير الاحيائي [تغير فجائي في الوراثة يحدث مواليد جديدة مختلفة عن الأبوين (المترجم)] . - هناك مفهوم جديد ، مرتبط تماماً بالمعطيات السابقة ، سوف يظهر أيضاً ، ذلك هو مفهوم « التغير » المرتبط ارتباطاً وثيقاً بالدراسة العميقة للنوع ؛ وهذه الدراسة كانت تستحوذ على علماء الطبيعة منذ منتصف القرن التاسع عشر⁽²⁾ .

إن النوع ليس وحدة مطلقة غير قابلة للانقسام . ودراسة الدقيقة أدت إلى تقسيمه إلى فروع ثانوية ، متعددة ومعددة نوعاً ما ، عليها تطبيق تسميات الأصناف والسلالات . والتزاوج بين هذه تكون خصية للغاية وتغير وراءها تركيبات رأينا أنماطها ؛ إنما تمكن أيضاً دراستها بذاتها .

وقام عالم نباتي هاو من ليون ، اسمه الكسي جوردان (1814-1897) ، محاسن للمفاهيم التحولية ، ببحوث ، بين 1856 و1873 ، واسعة ودقيقة فزرع ، على حدة ، أصنافاً التقطها من الطبيعة . فاكشف مثلاً لدى نبتة من الصليبيات [فصيلة نباتية من ذوات الفلقتين عديدة التوجيات] شائعة جداً في مناطق فرنسا اسمها « درابافونا » (Draba Verna) تشكيلات تصل إلى حدود المئين ، تثبت من استقرارها ، عبر أجيال كثيرة متتالية . إن التنوع الظاهرية في النوع ، التي يذكرها التحوليون ، لم تكن بالنسبة إليه ، في الواقع ، إلا تعايش وتزامن هذه التشكيلات المستقرة ، التي يشكل تراكمها النوع الليني (Linneenne) [نسبة إلى ليني Linné] .

إن هذه البحوث التي قام بها جوردان ، تشكل ، على كل حال ، توثيقاً متيناً اتخذ معنى دقيقاً في علم الوراثة الحديث . واقترح النباتي الهولندي لوتسي كلمي « لينيون » (Linneon) « وجوردانون »

(1) ان مذكورة مندل الأساسية ، نشرت باللغة الألمانية في مجلة « التاريخ الطبيعي في برنو » (مجلد 4 ، 1865 ص ص 3-47) . وهذا النص كان من حيث المبدأ تحت عنوان اليد ، رغم أن انتشار هذه المجلة كان محدوداً نوعاً ما . وقد ترجمت المقالة إلى الفرنسية ونشرت من قبل آ . شابليي A. Chapellier تحت عنوان « بحوث حول المهنجات النباتية » (« الشرة البيولوجية في فرنسا وبلجيكا » ، 1907) .

(2) سنة 1859 ، أي في السنة ذاتها التي نشر فيها داروين « أصل الأنواع » ، نشر الشاتي الفرنسي آ . غودرون A. Godron كتاباً عنوانه « في النوع وفي السلالات ... » .

(Jordanon) للدلالة على النوع المجموعي وعلى الوحدة الأولية التي حددها جوردان .

ومن جهة أخرى ، في أواخر هذا القرن التاسع عشر ، أوضح مؤلفون متنوعون التغيرات المفاجئة والمتقطعة التي كان داروين قد أشار إليها تحت اسم « المنحرفات أو الشاذات » أو « الأنواع الفريدة » ، دون أن يعطيها أهمية لأنها في الواقع ، وبصورة دائمة تقريباً ، خاسرة على صعيد المنافسة الحيوية ، وبالتالي مستبعدة حتى بفعل الانتقاء الطبيعي .

في سنة 1894 ، نشر عالم الحيوان الإنكليزي و. باتيسون W. Bateson ، تحت عنوان ذي دلالة « مواد لدراسة التنوع معالجة بنظرة خاصة إلى الانقطاع في أصل الأنواع » دراسة حول هذه التنوعات المفاجئة والمتقطعة .

وفي السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ، نشر النباتي الروسي س. كورجينسكي S. Korginski (1860- 1900) ، عشية موته المبكر ، في سنة 1899 ، تحت عنوان « اختلاف الذرية عن الأصل أو التولد الذاتي والتطور » (Hétérogenèse et Evolution) ، « نظرية حول تشكل الأنواع » ، كتاباً يبحث فيه الأطروحة المعاكسة لأراء داروين ، ومفادها أن الأنواع لا تتحول أو تتغير بتقلبات بسيطة ومستمرة ، بل بتغيرات مفاجئة ، وقدم على ذلك أمثلة مأخوذة عن نباتات وحيوانات اليفة .

وقام النباتي الهولندي هوغو دي فري (Hugo de Vries) (1848- 1935) ، ومنذ 1886 ، ببحوث واسعة حول نبتة مغروسة (Cultivée) ، أخذت تنتشر بحالتها الطبيعية هي « أونوترا لاماريكنا » (نبتة من أصل أمريكي من فصيلة الاخديريات أو œnotheracées أو Onagracées) ، وقد لاحظ وجود تنوعات لها غير متواصلة ومفاجئة . ونسق بين هذه المعطيات بسلسلة من الوقائع المشابهة مرصودة في النباتات والحيوانات (وخاصة الوقائع التي جمعها كورجينسكي (Korginski) ونشر كتاباً مهماً « في التحولات » (مجلدان ، ليزينغ ، 1901- 1903) حيث أطلق اسم « انتقال » على التغيرات المفاجئة والوراثية ، التي كانت ، بحسب رأيه ، في أصل تشعب الأنواع .

إن مفهوم الانتقال ، المثبت على هذا الشكل ، سوف يتوضح ويتوسع ويلعب دوراً رئيسياً في تطور علم الوراثة (جنتيك) ، على أساس أعمال مندل ، التي سحبت من النسيان في فجر القرن العشرين بفضل النساوي أريك فون شرماك Eric Von Tschermak ، وبذات الوقت ثبتت هذه الأعمال تجريبياً من قبل هوغو دي فري Hugo de Vries ومن قبل الألماني كارل كورنس Karl Correns .

ولكن هذه المراحل الجديدة تدخل في تاريخ البيولوجيا في القرن العشرين ، وهي ستدرس في المجلد اللاحق من هذا « التاريخ » . ونحيل أيضاً على هذا المجلد تحليل النظريات الأولى الخاصة بالوراثة (أو النظريات الميكرومترية = [القياسية الدقيقة للغاية]) والتي صيغت في السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر ، ولكنها لم تأخذ كل مداها ، إلا في القرن التالي ، حيث ارتكزت بآن واحد على الاكتشافات السابقة (قوانين مندل ، التحولات ، اكتشاف الصبغيات) وعلى التقدم السريع في علم الخلايا وفي علم الوراثة التجريبي .

الفصل السابع

عصر ما قبل التاريخ العلمي

ولد «عصر ما قبل التاريخ العلمي» في القرن التاسع عشر بفضل تكاثر الاكتشافات ، وبفضل إيجاد المناهج الجديدة وتحسينها .

بخلال هذا القرن ، تم إثبات الأقدمية الحقيقية «للإنسان» ، وصنفت صناعاته الحجرية ودرست الحيوانات المعاصرة . وتم هذا العمل بفعل متزاوج من قبل الجيولوجيين والأناسيين وعلماء الآثار : يدرس علماء الآثار الصناعات السابقة على التاريخ ، ويتفحص الاناسيون العظام البشرية في حين يحاول علماء الجيولوجيا فهم تنالي التربات الرباعية ليثبتوا فيها ، طبقة فطبة ، العظام البشرية ، والمتحجرات ، والأدوات والحيوانات .

التعرف على وجود «الناس المتحجرين» - لقد دارت المعركة في سنة 1801 و1868 من أجل «الإنسان المتحجر» ؟ معركة حامية بين الأماناء على العلم الأصيل (التقليدي) وبين مؤسسي «ما قبل التاريخ» ؟ وقد اعتمد هؤلاء الأخيرون على اكتشافات عدة جرت في المغاور أو في طمي الأنهار . وظهرت ثلاث مراحل في هذا التطور الفكري :

1 - في أواخر القرن الثامن عشر ، كان الافتراض السائد دائماً بصورة رسمية أن أي رجل لم يكن معاصراً للحيوانات البائدة (فيلة ، وحيد القرن ، الرنة ، الخ) التي عُثِرَ على بقاياها ، في كل مكان تقريباً في الترسبات الرباعية . ان الاكتشافات المشار إليها سابقاً والتي حققها جون فريير John Frere (المجلد الثاني القسم III ، الكتاب II ، الفصل VI) في السوفولك Suffolk سنة 1800 مرت غير منظورة ، وتحمل المؤلف نفسه عن بحوثه .

2 - وقد تقرر فيها بعد أن بعض البشر كانوا معاصرين لهذه الحيوانات ، ولكنهم لم يكونوا بحال من الأحوال أجدادنا ، نظراً لأنهم فصلوا عنا بكارثة «الطوفان» الكوني ، وهو مادة إيمان تملو على النقاش .

3- وأخيراً تم التوصل هذا الشأن ، بعد الصراع المذكور ، إلى أن « الإنسان » الحالي هو بالتأكيد السليل المباشر « للإنسان » المتحجر ، السابق على التاريخ ، الذي عاش بخلال العصر الرابع ، وبذات الوقت مع الثدييات الكبرى الزائلة .

التنقيبات في المغاور - كان من أوائل المنقبين في المغاور ف. جوانت F. Jouannet الذي عثر على صوان مقصوب وعلى عظام لحيوانات متحجرة ، في مغاور كومب غرنال Combe-Grenal ، قرب سارلات Sarlat ، في الدورونيه سنة 1815 .

وفي سنة 1823 اكتشف أمي بوه Ami Boué نصف هيكل عظمي بشري ، وبقايا ثدييات متحجرة ، في قاع الرسوبات الغرينية (الطمي) (Loess) القديمة في منطقة لاهر Lahr على الضفة اليمنى لنهر الرين ، تجاه ستراسبورغ . ودرس كوفيه Cuvier هذا الاكتشاف فاستنتج بأن هذا الهيكل لم يكن قديماً ، وأنه جاء ببساطة ، من مقبرة .

بين سنة 1826 و1829 عثر تورنال في مغارة بيز (في منطقة أود) على بقايا من السيراميك ، وعلى عظام لحيوانات متحجرة وعلى بعض عظام بشرية وعظام رنة محفورة بيد الانسان . وفي سنة 1829 اكتشف كريستول ، من موبيلي عظام انسان وضع ووحيد قرن في بقايا مغارة بندرة . وتمت اكتشافات مماثلة من قبل أ. دوماس في مغارة سوفينيارغ ومن قبل الدكتور بيطور في فوران (منطقة هيرولت) . في هذه السنة بالذات ثبت أمي بوي ملاحظاته من سنة 1823 ، ولكن الكسندر برونبارت أعاد نشر حكمه دون الاستعانة بكوفيه القوي جداً ، في « حوليات العلوم الطبيعية » . وكان رفض كوفيه الاعتقاد بمعاصرة الانسان والثدييات المتحجرة من العصر الرابع كافياً حتى تلاقي كل هذه البحوث رفضاً وشحاً (أ. هامى) . وبذات السنة 1829 عثر الدكتور ب. ش. شمزلنغ في مغاور انجيس وانجيلهول ، قرب مدينة لياج على صوان مقصوب ، وعلى عظام حيوانات متحجرة وعلى جماجم بشرية تحت الطبقة الدوسوبية (ستالاغميت) . وعلى كل لم يعرف كيف يتخلص من أخطاء كوفيه واعتقد أن هذا الخليط متأث من انتقال ومن نقل (بحوث حول العظام المتحجرة المكتشفة في مغاور مقاطعة لياج ، 1833) .

وفي انكلترا نخب ماك انيري في مغارة قرب توركاى (ديفون شاير) ، في كانتس هول فعثر على صوان مقصوب ، وعلى عظام ثدييات كبيرة ، متمركزة تحت الطبقة الستالاغميتية . ولكنه نشر اكتشافه مع معلمه ويليم ي. بوكولاند ، فاضطر « احتراماً » ، كما يقول ليل ، إلى « إخفاء رأيه الشخصي » ، وإلى عدم الإفصاح بأن بعض قطع الصوان من غط قديم جداً كانت معاصرة لحيوانات انطفأت وبادت ولم يبق منها الا العظام » . وفي سنة 1840 أصدر روبر غودوين - أوستر نفس الملاحظات ، ولكنه أكد « أن العظام ومصنوعات الإنسان قد وضعت في المغارة قبل أن تتكون هذه الطبقة من الستالاغميت » وعلى كل ، ان هذه الاكتشافات المهمة لم تلفت الانتباه ، ورفضت جملة « جمعية الجيولوجيا اللندنية » تنزيل مذكرة من ادوار فيفان حول هذا الموضوع .

وهكذا لم تؤخذ التنقيبات الأولى التي أجريت في مغاور فرنسا وبلجيكا وانكلترا مأخذ الجد . وكذلك كان الحال مع الأسف ، بالنسبة الى الاكتشافات التي تمت بصورة موازية في الترسبات .

جاءك بوشير دي بيرتس ومدرسة إيفيل في سنة 1797 تأسست في آبيفيل جمعية متواضعة اسمها : « جمعية المنافسة » لعبت دوراً ناشطاً جداً في تطور الدراسات المتعلقة بما قبل التاريخ . ومن أوائل أعضائها العالم الأحيائي لورانت تروبي (1758 - 1829) ، الذي أخرج أكاديمية العلوم في باريس ، وأكاديمية التسجيل والفنون الجميلة ، بواسطة كوفيه ومونجي Mongez بالعديد من المكتشفات المعثور عليها في أتربة نهر السوم Somme ، ويمكن أن يعتبر كمؤسس لعلم الآثار الطبقاتية

كتب مونجي بهذا الشأن يقول : « لاحظ م . تروبي بصورة دائمة أن الأثرية التي تبدو غالباً (نسبة الى غالبا) موجودة في التنقيبات الأكثر عمقاً . وإن الرومانيت تقع فوق هذه ، وأخيراً إن الآثار الفرنسية ، أو بصورة أولى الفرنكية Francisques تبدو أول الأمر أمام العمال » .

وهناك عضو آخر في الجمعية هو الطبيب والعالم الطبيعي كازمير بيكار (1806 - 1841) ، أخذ يتبع أيضاً التنقيبات المحلية التي كانت تعطي من وقت الى آخر « فراعات سلتية » . في سنة 1830 عثر على قراب من قرن الأيل وعلم باكتشاف أربع فراعات مكسورة الذراع ، فأكد وجود فراعات مقصوبة وفراعات مجلية ، بشكل مستقل ، وبالتالي وجود صناعة شظايا الصوان . كان جاك بوشيردي برتس (1788 - 1868) موظفاً في الحمامك ، وكان يهتم بشكل خاص بالاقتصاد السياسي ولما أصبح رئيساً لجمعية المنافسة في آبيفيل سنة 1836 ، تتبع بعدها التنقيبات الأثرية واهتم بإنشاء متحف علي . وفي 1837 ، قرأ على زملائه عرضاً فلسفياً مختصراً ، أغفل فيه تمشياً مع أفكار كوفيه السائدة عموماً ، ذكر قدم الانسان .

وفي سنة 1841 ، عثر في مرملة مانشكور على العديد من العظام فأرسلها الى كورديه في المتحف الوطني . ونذكر هنا مختاتلة أولى وهي أن العمال في جوار آبيفيل قد « عثروا » ، بناءً على طلبه الملح على « فراعات سلتية » ، في الطبقات ذات العظام . وعلى كل عثر بوشيردي برتس ، في نموز وآب من سنة 1844 ، بنفسه وفي مكانها ، على عدة « فراعات مقصوبة » وعلى ناب فيل . وفي 7 تشرين الثاني 1844 أوضح وجهة نظره أمام زملائه في جمعية المنافسة في آبيفيل :

« أما أولئك الرجال الذين عثروا على آثارهم في الطبقات الطوفانية السفلى ، فليس لهم وريثة على الأرض ، ولسنا نحن أبناءهم ، لأنهم قد أيدوا كما أيدت الثدييات الأخرى المعاصرة لهم : ان هؤلاء الرجال السابقين على الطوفان يتمون الى أزمنة خارجة عن كل تراث موروث ، وأبعد من كل الذكريات » .

ونحن في هذا في المرحلة الثانية . إن الرجال الذين صنعوا الفراعات المقصوبة هم من المعاصرين للماموث والرنه ولكنهم ليسوا أجدادنا ، لأنهم قد أيدوا بفعل الطوفان التوراتي .

إلا أن الاكتشافات تكاثرت وفي سنة 1846 وجه بوشير دي برتس Boucher de Perthes الى الأكاديمية القسم الأول من بحثه حول الأثرية السلتية والسابقة على الطوفان وعنوانه (« حول الصناعة الأولى أو الفنون في منشها ») ، وطلب إرسال لجنة تثبت من صحة اكتشافاته . وتشكلت

هذه اللجنة ، ولكنها لم تترك مكانها ، لأن العلم الرسمي استمر يرفض الاهتمام بهذه الموجودات .
ولكن فلورنس Flourens وكوردية Courdier نصحا بوشير دي بيرتس أن يتخلل عن بحثه ، في حين أنكروا ايدي دي بومون كل شيء إطلاقاً .

في هذه الأثناء ، في سنة 1853 وبعد أن زار الدكتور ريجولوت Rigollot مراقداً سان أشول انحاز إلى جانب بوشير دي بيرتس . وفي سنة 1859 جاء إلى آييفيل العالم الاحاثي الفرنسي البرت غودري كما جاء إليها علماء بريطانيون عظماء هم فالكونر Falconer وليل Lyell وبرستويتش Prestwich وجون إيفانيس ثم رجعوا مقتنعين . في حين قدم غودري امام أكاديمية العلوم في باريس مداخلة مؤيدة جداً ، أكد الجيولوجيون الانكليز قناعتهم في عدة مقالات وبعد ذلك بعدة سنوات أعلن ليل عن إيمانه المؤثر في كتابه « الحقيقة الجيولوجية حول أقدمية الانسان » (لندن 1863 ؛ ترجمة فرنسية تحت عنوان «قدم الانسان تثبت الجيولوجيا ، باريس 1864 ») فأنار به انفعلاً كبيراً في الأوساط العلمية . وبعد ذلك كما قال كارتيلهاك Cartailhac قام « الرجال العظام بالحج إلى آييفيل » .

فضلاً عن ذلك وفي سنة 1860 قرأ بوشير دي بيرتس أمام جمعية المنافسة في آييفيل خطابه الشهير « حول الإنسان السابق على الطوفان وأعماله » في حين عثر هـ. ج. غوص Gosse من جنيف على صوان مقصوب وعلى عظام الماموث في مرملة شارع غرينيل وشارع موت - بيكيه في باريس .

عمل لارتيه - في نفس هذه السنة استكشف ادوار لارتيه (1801-1871) ، وكان محامياً مغمناً ، وهاوياً كبيراً للجيولوجيا ولعلم ما قبل التاريخ ، محطة اورنيك (الغارون الأعلى) وارسل مذكرة حول « أقدمية جيولوجيا الجنس البشري في أوروبا الغربية » إلى أكاديمية العلوم في باريس . وأمام الاستقبال المتحفظ الذي لقيه ، نشر ملاحظاته في عدة محلات دورية . وقام لارتيه - الذي اكتشف في سنة 1854 أو 1856 بقايا قردين مجسمين ، « بليوبيتيك والدريوبيتيك » - ، يعارض في مذكرة له من سنة 1858 ، « حول الهجرات القديمة لثدييات الزمن المعاصر » ضد أفكار الطوفان وضد الكوارث . وظن أن تاريخ الانسان كتاريخ الحيوانات أو كتاريخ الأرض هو عمل مستمر ، فقدم العناصر الأولى لتأريخية إحيائية (1861) . كتب يقول « بالنسبة إلى الحقيقة التي مرت على البشرية الأولى ، يكون عندما عصر الدب الكبير دب المغاور ، وعصر الفيل ووحيد القرن ، وعصر الرنة وعصر الأرنخس » . ومهما كانت هذه المحاولة الأولى غير مكتملة من ناحية التصنيف فإنها تدل على أن مسألة الانسان ومسألة ما قبل التاريخ يجب أن تندمج في إطار الجيولوجيا .

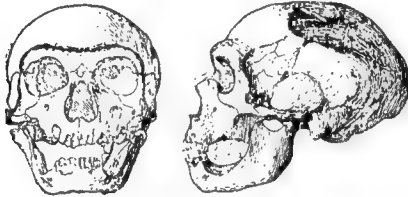
واضطرب ايدي دي بومون الذي أكد سنة 1863 على عدم إيمانه بأن الماموث والانسان قد عاشا بنفس الوقت ، إلى التسليم نهائياً في السنة القادمة على أثر اكتشاف لارتيه للماموث الشهير المحفور داخل مغارة مادلين في مقاطعة الدوردينيه .

وعندما توفي بوشير دي برتس (Boucher de Perthes) سنة 1868 ، كانت النخبة الحقة من مجتمع العلماء قد تحولت إلى أفكاره (إلا أن الجميع لم يكونوا مقتنعين ، وفي بعض الأوساط الرجعية ، كانت الفضيحة ما تزال كبيرة إلى درجة أنه عند وفاة بوشير دي برتس ، سحبت كتبه من الأسواق بقرار من العائلة ، وبيعت من أجل إنقاذها ، وبعد عدة سنوات ، في سنة 1875 ، كان لكتاب فكتور مونييه

Victor Meunier « أجداد آدم ، تاريخ الرجل المتحجر » الذي يحكى قصة استشهاد بوشير دي برتس ، نفس المصير ، قبل أن يعرض في المكتبات ، ولم ينشر الا سنة 1900 (م . بول M. Boule « الرجال المتحجرون » ط 3 باريس ، 1946 ، ص 11) .

وفي سنة 1869 كان لتعيين ادوار لارتيه E. Lartet على رأس كرسي علم الإحاثة في الميزيوم (Muséum) ، ان كرس بصورة رسمية هذا الانتصار . وبقي أن تكتشف وان تصنف الحيوانات المتحجرة ، والصناعات الحجرية . وسيكون هذا من مهمات النصف الثاني من القرن التاسع عشر .

إكتشافات الأشخاص المتحجرين .. في سنة 1865 ، نشر الدكتور فولروت D. Fuhlrott وصف بعض أجزاء (طاسة جمجمة ، وبعض عظام طويلة) امكن إنقاذها من هيكل عظمي اكتشف سنة 1856 من قبل عمال مقلع كائن في واد سمي نياندرتال Néanderthal ، بين البرفلد Elberfeld ودوسلدورف Dusseldorf ، في بروسيا الراينية . وكانت الطاسة الجمجمية تلفت النظر بتراجع الجبهة ، وبروز قوسي الحاجبين ، وبروز القذال الى الخلف .



صورة 17 - انسان النياندرتال

جمجمة لاشابيل - أو - سان ساين - La Chapelle aux Saints

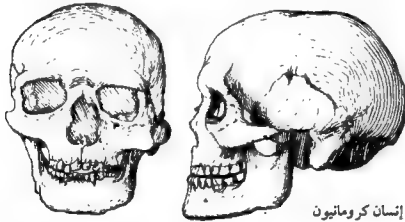
وتردد كثير من علماء الطبيعة في بادى الأمر في نسب هذه الجمجمة الى الانسان . ومع ذلك كان نخط انسان النياندرتال بالذات (صورة 17) هو الذي سوف يعثر على بقاياه ، في كل مكان تقريباً ، مختلطاً في بعض الأحيان مع معدات شبه بدائية (النمط الموستيني) [نسبة الى موسيته Moustier : منطقة تنقيب من عصر ما قبل التاريخ في فرنسا] : آرسي ، سور - كور Arcy-sur-cure (يون Yonne ، 1859) جبل طارق (1864) بروكس Brux (بوهيميا Bohême 1872) ، لانوليت Nauvette (قرب دينانت Dinant ، بلجيكا - 1866) قبل أن يُكتشف منها هيكلان عظيميان شبه كاملين ومحفوظان جيداً ، سنة 1886 ، في سبائي Spy (قرب نامور Namur) .

في سنة 1868 ، وأثناء القيام بأعمال توضع السكة الحديدية في بيريفو Périgueux في آجن

Agén ، عثر لويس لارتيه Louis Lartet ، على خسة هياكل عظمية تحت ملجأ كرو- مانيون Cro-Magnon قرب ايزي (Eyzies) (دوردونييه) (Dordogne) ، عند مستوى معاصر « لعصر الرنة » . وعُرفَ آ. كاترفاج-Quatrefages والدكتور هامي Dr. Hamy هذه السلالة المسماة كرو- مانيون (صورة 18) : رجال ضخام (أطول من 1.80 م) طويلو الرأس . وتمّ فيها بعد اكتشاف هياكل عظمية مشابهة بين 1872 و 1875 من قبل اميل ريفير Emile Rivière في مغاور غريمالدي Grimaldi قرب مانتون Menton ، ثم أخريات بين 1875 و 1900 .

في سنة 1888 ، أبرز فيو وهاردي Féaux et Hardy - من مستوى ماعدالي Magdalenien] نسبة الى ملجأ المادليين : الحفنة الماغدالية تمتد من 13 إلى الألف 8 قبل المسيح] في ممكن تحت صخرة رمونندن Raymondonden ، في الشانسيلاو Chancelade ، قرب باريفر Périgueux - هيكلاً عظميةً ذا قامة صغيرة ، وجد فيه الدكتور تستوت Dr. Testut عناصر قرى مع الهياكل العظمية للاسكيمو .

ودونما اعتبار للاكتشافات غير الأكيدة التي تمت في أواخر القرن التاسع عشر ، عُرفت ثلاث سلالات من الرجال المتحجرين هي : النياندرتال ، وكرو- مانيون وسانسيلاو . ويظهر كتاب « موجز الاحاث البشرية » لـ أ. ت. هامي (E. T. Hamy) (1870) ، وكتاب « الجمجمة العرقية » (Crania ethnica) (1882- 1873) لـ هامي Hamy وآ. دي كاترفاج (A. de Quatrefages) بوضوح التقدم السريع في علم الإناسة لما قبل التاريخ .



صورة 18 - إنسان كرومانيون

إكتشاف بيتيكانتروب [Pithékanthrope] [Pithékos : قرد و Thrope = إنسان] الإنسان القرد : أثارت هذه الاكتشافات المتعددة مناقشات بدون نهاية ، مناقشات أقرب الى الفلسفة منها الى العلم . وتجب الإشارة ، بهذا الشأن ، ان رغبة العقلانيين التي كانت وراء اثبات الأصل الحيواني للإنسان ، هي التي تسببت في جوهر الدراسات والبحوث .

وصدرت ثلاثة مؤلفات ، بشكل خلاص ، كان لها دوي كبير هي : « سلالة الانسان والانتقاء الجنسي » لشارل داروين Charles Darwin (لندن 1871 ؛ ترجمة فرنسية 1872) ، « تاريخ الخلق » لارنست هايكل (Ernest Haeckel) (برلين 1868 ، ترجمة فرنسية 1874) ، ثم تلاهما كتاب « الأنثروبوجيني أو تاريخ التطور البشري » لنفس المؤلف (ليزيغ ، 1874 ، ترجمة فرنسية ، 1877) .

عاد هاينكل Haeckel الى نظريات لامارك Lamark حول الأصل الحيواني للإنسان ، فأكد على وجود وسيط مورفولوجي [من مورفولوجيا = علم التشكل : علم يبحث في شكل الحيوانات والنباتات] شكلي بين القرد العليا والانسان سماه « بيتكانتروب » [الوسيط بين الانسان والقرد] .

ويجب أن نضيف أنه في سنة 1873 ، في مؤتمر الـ A.F.A.S. ، المتعقد في ليون ، نادى ج. مورتيلت G. Mortillet وآييل هوفيلاك Abel Hovelacque بفرضية الوسيط بين القرد والإنسان . وأعطاها اسم « انتروبيتيك » [من Anthro : إنسان و Pithèque : سلف] واسندا إليه الصوان المقصوب ، الذي عثر عليه في الطبقات الثالثة .

ومن جهته ، وضع ر. فيرشو R. Virchow ، كمبدأ وجوب البحث عن الرجال الأولين في جزر السوند (La Sonde) [جزر في أرخبيل أندونيسيا بين سومطرة وجاوة] .

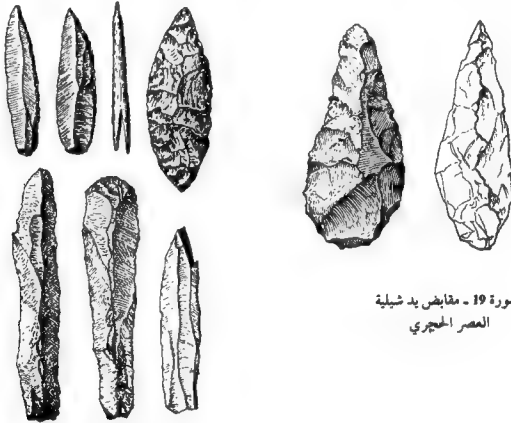
وأثارت هذه المحاضرات حماس طبيب شاب عسكري هولندي ، اسمه أوجين دوبوا Eugène Dubois ، فذهب الى الهند الهولندية [التابعة لهولندا] عازماً على العثور فيها على « الإنسان القرد » المفترض . وبدأ بسومطرة ، ثم أكمل تنقياته في جاوة ابتداء من 1890 . وفي سنة 1891 ، عثر أوجين دوبوا في أسفل بركان لاو-كوكوسان Lawu-Kukusan ، في ترينيل Trinil على ضفاف نهر سولو ، على طاسة مجهزة وعلى عظم فخذ وعلى سن لكائن وسيط بين الانسان والقرد ، ذي سعة دماغية تقدر بـ 900 ستم مكعب ، تقع بين سمات القرد ذات الشكل الإنساني ، والإنسان . ونشر دوبوا اكتشافه سنة 1894 ، وأطلق على الكائن الذي اكتشفه اسم « بيتكتروبوس اركتوس » « Pithecanthropus erectus » ، واعتبره الجد المباشر للإنسان . وكانت هنا فضيحة أخرى تولاها علماء الإحاثة والاناسة ، والفلاسفة والصحفيون . ولم يأت الحل ، أي التفسير الصحيح لـ « البيكتروب » إلا في القرن العشرين .

علم الآثار السابق على التاريخ : العصور الثلاثة : الحجري ، البرونزي ، الحديدي - كان علماء الآثار ، في مطلع القرن التاسع عشر ، أمام العديد من الأشياء البرونزية والحديدية والنحاسية أو الحجرية ، من عصر غير محدد . وتم وضع التصنيف الثلاثي : الأعصر الحجرية ، والبرونزية والحديدية الذي اتخذ كأساس لما قبل التاريخ ، سنة 1836 من قبل ك. تومس C. Thomsen ، مدير المتحفين الأثري والعرفي [الأنتوغرافي أي الذي يبحث في خصائص الشعوب] في كوبنهاغ ، من أجل توحيد صف وترتيب المجموعات العامة . وأدت دراسة المدافن القديمة بعالم الآثار الألمانيين ليش Lisch وداني Danneil الى استنتاجات مماثلة . وبعد ذلك بقليل ، وضع وورسا Worsaae ، خليفة تومسن Thomsen في متحف كوبنهاغ ، تصنيفاً أكمل وأدخل قسمين فرعيين في مجال « الحجر المصقول » وقسمين في العصر البرونزي ، وثلاثة في عصر الحديد .

إلا أن فكرة البرونز السابق على الحديد لم تقبل بسهولة . فقد أكد الكولونيل في المدفعية ، الداغركي Tscherning تشرننغ أنه من المستحيل تصنيع البرونز دون استعمال أدوات الحديد أو الفولاذ . وزعم الألماني ك. هوستمان C. Hostmann بأن الإيمان بالأعصر الثلاثة هو « عار علم الآثار الحديث » ، وكتب مواطنته ك. غوتلر أيضاً سنة 1877 : أن ذلك يعني إضفاء الصفة الداغركية على ألمانيا

بكاملها « حين نطبق على علم الآثار هذا التصنيف المرتكز على العاديات أو الآثار السكندنافية ». إلا أن مونتيليوس السويدي Montelius وجون إيفانس J. Evans الانكليزي وج. دي مورتيه G. de Mortillet الفرنسي اعترفوا بصحة أساس هذا التصنيف الأول .

تصنيف الصناعات الحجرية .- منذ أن لاحظ العلماء وجود أدوات من الحجر المقصوب تختلف عن الأدوات المصنوعة من الحجر المصقول اقترح علماء الآثار التعبير عن قدمها النسبي بتميز حقيقتين ذاتي أهميات متنوعة جداً : عصر الحجر المقصوب وعصر الحجر المصقول . وفي كتابه « أزمنة ما قبل التاريخ » (لندن ، 1865 ، ترجمة فرنسية : انسان ما قبل التاريخ ، باريس ، 1866) أدخل جون لوبوك التقسيم إلى العصر الحجري القديم (الحجر القديم) وهو يتوافق مع عصر (الحجر المقصوب) ، وعصر الحجر الحديث (أو عصر الحجر الجديد : بداية عصر الحجر المصقول) . في سنة 1869 قدم



صورة 19 - مقايض يد شيلية
العصر الحجري

صورة 20 - أدوات من
العصر الحجري القديم

غبريال مورتيه G. Mortillet إلى أكاديمية العلوم في باريس كتابه « محاولة تصنيف المغاور ، والمحطات تحت الملجأ ، المرتكز على مصنوعات اليد البشرية » وفيه قسم العصر الحجري القديم إلى أربعة أزمنة : الشيلية chelléen ، والمستيرية Moustérien والسلوترية Solutréen والمغذلية Magdalenien . ثم

أضاف إليها الاشولية Acheulien (بين الثيلية والمستيرية) (صورة 19 وصورة 20) . كل هذه الأسماء تذكر بالمحطات الفرنسية التي اكتشفت فيها أخط هذه الأدوات : مسنات Ballastières شيل (السين والماران) ومغطات سان آشول (منطقة نهر السوم) ، محطه موسيه Mouster (دائرة بيزاك) Peyzac ، الدوردوني) ، مغطات سوليتري Solutre (الصون واللوار) ومغطات المادلين Madeleine (دائرة تورسك ، دوردوني) .

في سنة 1887 عثر ادوار بيت في ماس دازيل (أرييج) على طبقة أثرية جديدة بعد المغدلية Magdalenien وتحتوي على عظام ايل وخرير بري ، وعلى حريات مسطحة من قرون الغزال وعلى مستديرات ملونة بالطلاء الأحمر ؛ فكان العصر الأريلي ، أول مرحلة من طبقة العصر الحجري الأوسط (الميزوليت) أي الوسط بين العصر الحجري القديم والعصر الحجري الحديث . وهناك منحهم صفائح من صوانات صغيرة هندسية ، اكتشفت في البرتغال سنة 1865 ، أشار إليها بيريرادا كوستا ، وعثر على مثيلاتها مجدداً في فرنسا سنة 1880 و1887 ، وسميت سنة 1896 من قبل أدريان دي مورتيه تحت اسم « تاردبوازيه » Tardenosien (في منطقة فير آن تاردنوا ، في الأيسن) .

تطور دراسات ما قبل التاريخ .- سنة 1864 أسس غبريال دي مورتيه في فرنسا أول مجلة تبحث في علم الحجريات تحت عنوان : « مواد لتاريخ الانسان » . وفي السنة التالية تقرر إقامة مؤتمرات دولية تبحث في علم أصل الانسان وفي الآثار من أرمته ما قبل التاريخ . وكانت هذه المؤتمرات تعقد سنوياً في بادئ الأمر (عقد أول مؤتمر في ميوشاتل سنة 1866) ، ثم تالت فيها بعد وفقاً لدورية غير منتظمة نوعاً ما (عقد المؤتمر الثاني عشر في باريس سنة 1900) .

في سنة 1876 فتحت مدرسة علم تاريخ الانسان (انثروبولوجيا) في باريس أبوابها ودفن غ . دي مورتيه تعليم ما قبل التاريخ . ونشر هذا العالم ، في سنة 1881 كتابه « متحف ما قبل التاريخ » ، كما نشر في سنة 1883 « كتاب ما قبل التاريخ » وهو كتاب مشهود جمع بصورة تاريخية تسلسلية المستندات المجموعة . ونضمت الطبعة الثالثة منه التي نشرت سنة 1900 توضيحاً ممتازاً لحالة العلم ما قبل التاريخي في أواخر القرن التاسع عشر . نذكر أيضاً ، في سنة 1890 بدايات « الأنثروبولوجيا أو علم الانسان القديم » وهي مجلة نصف سنوية تنشر ، بذات الوقت دراسات أصيلة ، ومراجعة نقدية للمكتشفات ما قبل التاريخية ، في العالم كله .

عصر ما قبل التاريخ والجيولوجيا .- من المؤكد أن الطريقة التي تعنى بالتنفيذ أو الستراتيغرافيا ، وحدها تمكن من تحديد التاريخ النسبي للأحداث ما قبل التاريخية ولكن النقيين الاوائل عن المقالع أو المكاس ما قبل التاريخية - حتى أكثرهم شهرة - اكتفوا بالاستغلال السريع لهذه المخازن أو المواضع ، ميرزين ، بشكل مختلط وعشوائي ، الأدوات والعظام من أرمته وحقب مختلفة جداً . وكانوا فرحين جداً في إعاء مجموعاتهم بالأدوات الصوانية المقصوبة الجميلة ، الى حد أنهم أهملوا في الغالب العظام المتحجرة التي عثروا عليها .

ويبدو أن ادوار بيتت هو الذي أدخل منذ 1871 النهج العلمي في علم ما قبل التاريخ ، يقول : « لقد وضعت جانباً الأشياء المحبوسة في كل طبقة من مطلق مغارة ، مع الاعتناء الدقيق ببحث لا

تحتلظ بالأشياء المستودعة في مستودعات تحتية متصلة بها ، ولا بالأدوات المستكشفة من طبقات متنوعة مترسبة ؛ ثم قارنت فيها بين محتويات المرائب المختلفة واستنتجت من ذلك تقسيمات ، وتقسيمات فرعية طبيعية . وهذه الطريقة هي طريقة الجيولوجيين . وبعدها رتب الأشياء حسب نظام ترتيبها ، فكان تحت عيني صفحة حقيقية من صفحات التاريخ » .

وهذه الطريقة التصفيدية اتاحت توضيح تتابع حقب الزمن القديم في أماكن مختلفة ، إنما بقي توضيح العلاقات والروابط في السلم الأثاري مع السلم الجيولوجي ، في إطار أزمة الأعصر الرباعية

من المعلوم أن العصر الرابع قد تميز بظهور وبنمو البشرية ، وأنه عرف تغييرات كبيرة في المناخ ، وتطوراً فريداً في جبال الجليد ، وقد درس الجيولوجيون الاسكندنافيون والألمان والانكليز ، ووصفوا تمدد الدائرة الجليدية التي كانت تعطي سكندنافيا وألمانيا الشمالية وهولندا ، وشبه غالبية الجزر البريطانية ومن جهة أخرى بدأ أ. بنك وأ. بروكسفي سنة 1882 و1886 دراساتها حول الجليديات في جبال الألب وفي ألمانيا وفي سويسرا . وفي سنة 1895 نشر جامس جيكي جدولاً تاريخياً بالمستودعات الجليدية في أوروبا ونشرت . ش. شميرلي ترتيباً أو جدولاً تاريخياً لمستودعات اميركا الشمالية .

وعند مناقشة عدد المراحل الجليدية ، وكذلك مسألة الفاصل بين العصر الثالث والعصر الرابعي ، كان من المقبول إمكان قسمة العصر الرابعي سداً لهذه المراحل ولكن الأهداف المتحجرة التي عثر عليها « في شواطئ مرتفعة » رفعت الى 15 و30 و60 و100 م فوق السطح الحالي للمحيطات ، نتج أيضاً قسمة العصر الرابع الى ثلاث أو أربع طبقات . وأخيراً ، بين المراسب الجليدية ، من الوديان المرتفعة والسطوح الحرة ، تم اكتشاف « سطوحات نهريّة » على طول الوديان ، وجرت محاولات موفقة نوعاً ما من أجل الربط بين هذه العناصر المتناثرة ، ونظمها ضمن مهبج متماسك (ولو ظاهرياً على الأقل) .

وفي سنة 1889 نشر مارسلي بول بحثاً كان له وقع . في هذه المحاولة حول علم المتحجرات التصفيدية حول الانسان عرّض ما عثر عليه « قصة يد » من العصر الحجري القديم وضعت في مستوى وسيط بين مرسبين جليديين ، كما اقترح جدولاً بموضع الصناعات الأثرية بالنسبة الى عمليات التحلل ، وبالنسبة الى توزيع الحيوانات الثديية . ولم يكن لهذا الجدول أي صورة نهائية ولكنه بدا كأول تركيب صالح ، يدمج معطيات ما قبل التاريخ في إطارها الجيولوجي .

اكتشاف المحفورات والمولنات والمنحوتات السابقة على التاريخ . - إن أول اكتشاف للفن السابق على التاريخ يعود لسنة 1833 . ويتعلق بعضاً من فرن الرنة مزينة بمحفور طائر ، وعثر على العصا الجنيني فرنسواميور في موقع فيرييه (Veyrier) (هوت سافوا) ثم تلا تلك الاكتشافات الشهيرة التي قام بها برويه (Brouillet) في مغارة شامو سنة 1834 واكتشافات ا. لارتيه في المادلين سنة 1864 ، واكتشافات كريستي وبيت وغيرهم الكثير الذين عثروا على أشياء كثيرة كان بعضها مزيناً برسومات هندسية في حيز صوروب أخريات منها قسماً لا بأس به من الحيوانات المعاصرة، منذ محفورة رنة كيسرلوك عند « تنجر سويسرا » حتى الخيول المنحوتة التي اكتشفها بيت في ماس دازيل . وأكثر من ذلك تم اكتشاف تماثيل صغيرة تمثل نساءً في مغاور غريمالدي (1883 - 1895) وفي مغارة براسبو

(لاندس ، 1892- 1897) . ورغم الشك حول أقدمية هذه التمثيلات قدم س . ريناخ مثلاً منها إلى متحف سان جرمان ، ونشر صورها (1898) .

وحصلت اكتشافات غير متوقعة أيضاً في مغاور عميقة حيث تم التعرف على حيوانات ملونة أو محفورة على الجدران وعلى القباب . في إسبانيا أولاً حيث شاهد دون مارسيلينو سوتولا ، سنة 1879 ، حيوانات ملونة ومرسومة على قبة مغارة التاميرا (مقاطعة سانتاندير) (Santander) ونشر اكتشافه في السنة التالية مع 25 صورة متعددة الألوان :

«ملاحظات حول بعض الأشياء قبل التاريخية في مقاطعة سانتاندير ، 1880 » ولكن هذا المستند الرائع رفض للشك فيه . وكذلك كان الأمر بالنسبة الى محفورات مغارة شابوت (فار) التي ذكرها شيرون سنة 1879 . وفي سنة 1895 لاحظ أ . ريفيار بدوره رسوماً محفورة على جدران غار لاموت (دوردوني) في حين نشر دالو سنة 1897 محفورات غار ميرنوبير (الجيروندي) .

ان حقانية هذه الرنات والبسومات والمماووت والحيول الح المرسومة بالألوان أو المحفورة ، قد تم الاعتراف بها عندما لوحظ أن أقدميتها ثابتة ، أما بفعل المراسب القديمة التي أخفت قسمها الأسفل وأما بفضل الطبقة الخفيفة من الترسبات المتحجرة التي تغطيها عند القبة وعلى الجدران . وأعطت هذه الاكتشافات أول رؤية حول أصول الفن ، وأعطت بذات الوقت معلومات ثمينة حول الحيوانات المعاصرة للفنانين السابقين على التاريخ .

وأنه في القرن العشرين فقط تم بصورة كاملة تقييم هذه المعطيات المتنوعة الجيولوجيا والاحاثية والحفرية والفنية ، تقييماً حقاً مما أتاح فهم أصل البشرية وتطورها .

الكتاب الثالث

العلوم الطبية

كان القرن التاسع عشر الطبي عصر بحوث واكتشافات علمية ، وقاوم الرنائة والفكر النظامي . وهناك عبارة لروايه كولار (Royer-Collard) (1818) تختصر هذه التيارات : « الحقائق كلها هي المطلوبة ؛ الأخطاء كلها مرفوضة ؛ وكل النقاط الغامضة تمت الإشارة إليها » .

1 - حقبة البُناة

إن اللحظة التي حصل فيها فوركروا Fourcroy من حكومة « الكونفانسيون » في الحزيف من السنة الثالثة [للثورة الفرنسية] (28 تشرين الثاني و4 كانون الأول 1794) على إنشاء المدارس المركزية في باريس ومونبليه وستراسبورغ ، التي سبق وتقررت في 18 آب ١٧٩2 ، تعتبر بداية القرن التاسع عشر . فقد أسرعوا يومئذ الى اختيار المعلمين الذين سوف يعلمون الشبيبة المجدة والكبير المقبلين على الدراسات الطبية . إن الاندفاع الغريب لهؤلاء القادمين الجدد تسبب في إنشاء « الجمعية الطبية التنافسية » التي افتتحت سلسلة التجمعات الناشطة في عجة العلم والفن التي أسهبا بيشات (Bichat) ولاري Larrey وآليبرت (Alibert) (المرعوي ، السنة الرابعة) . « وأصبحت العلوم المسماة تابعة أساسية ؛ وتغلب الطب عليها » كما قال بيشات ، والجمعية « سارت بدون تغيير على خط التجربة والملاحظة » .

1 - زعماء السرب أو الركب

كابانيس Cabanis .- كان ب. ج. ح. كابانيس (P. J - G. Cabanis) (1757-1808) المنافس الأكثر تمثيلاً . وقد أراد القضاء على الماهج أو المذاهب (Les systèmes) المغرية [الفشاشة] في الظاهر والتي تقود ، لا محالة ، الى الكوارث . كان طبيياً اجتماعياً ، فحاول أن يحصل ، في المستشفى ، إضافة الى الطبابة حتماً ، على الغذاء الكافي - وللمرضى بعد شفائهم أو تخمسهم وخروجهم ، على العمل أو المساعدة .

بيشات (Bichat) - مع غزافيه بيشات (Xavier Bichat) (1771-1802) برز مظهر آخر للانسان الجديد .

كتبت الأنسة جيني Mile Genty : كل بلاد أوروبا ، كان عندها ، حتى ذلك الحين مشرحوون وفيزيولوجيون (علماء وظائف الأعضاء) وأطباء مشهورون ؛ وقد اختصّ فرنسي بأن يُدعَ علماً جديداً هو « التشريح العام » وبأن يؤسس العبادة على أسس بيولوجية .

وقد ميّر في كتابه « التشريح العام المطبق على الفيزيولوجيا (علم وظائف الأعضاء) وعلى الطب » الذي صدر سنة 1801 ، بين واحد وعشرين صنفاً من الأنسجة (راجع ، أيضاً ، حول هذا الموضوع دراسة م . كوكلري (M . Caullery) وج . ف . لروا (J . F . Leroy) القسم V ، الكتاب I ، الفصل I :

« الخلوي ، العصبي في الحياة العضوية ، والشرياني ، والوريدي ، والزافري ، والمتنصغدهما ، والعظمي ، والنخاعي ، والفصروي ، والليفي ، والليفي الفصروي ، والعصلي في الحياة الحيوانية ، والعصلي في الحياة العضوية ، والمخاطي ، والمصلي ، والمفصلي من القدد ، والغذدي ، والجلدي ، والبشري والشعري » .

والكتاتان غير المكتملين « التشريح الوصفي ، والتشريح النطاسي » لم يكونا مجهولين لا من دوبوترين (Duputren) ولا من لاينك (Laennec) توفي كتابه « بحوث فيزيولوجية حول الحياة والموت » (1790 ، 1800 ، 1805 ، 1855) يواجه الحياة العضوية بالحياة الحيوانية .

بينل (Pinel) . اجتنب فليب بينل (1745-1826) الانتباه بالاصلاح الذي أدخله على نظام المتوهمين ، وكتبه الاصلاحية الطليعية . في سنة 1793 ، في مستشفى بيستر Bicêtre ، ألغى بينل « العرف الغوطي المتعلق بسلاسل الحديد . . وهو الاختراع المدهش لتأييد هياج المحسوسين في حالة اعتقادهم » ، وحقق نفس الاصلاح في السالبتريير Salpêtrière ، بنجاح كامل . وكتابه « وصف الأمراض الفلسفي » (1798) يلخص كل الفلسفة المعاصرة ، مع الملاحظات المجموعة أثناء عمله من قبل تلاميذه ، والمشروحة من قبل المعلم ، والمستكملة من قبل « المواطن اسكيرول » (Esquirol) . وهو يستبعد المعارف العارضة ويؤسس كل طب صحيح على الملاحظة ، ويعيد المرحى من كل التقدم الذي حققته العلوم التابعة . وقد استلهم لوك Locke وكوندنيك Condillac ، ودالمير d'Alembert ، وبوفون Buffon ، وزيرمان Zimmermann ، وفضل الشك الديكارتي على الفكر الدوغماتيكي (العقيدي) ؛ وهكذا إذا لم يكن قد أدى الا خدمة واحدة ، فهي ادخال خيرة الشك في الادمعة الطية [لكان ذلك كافياً] . وأخذ عليه كاسانيس Cabanis وكورفيسار Corvisart أنه استلهم من التصنيف النباتي لكي يجمع ويصنف الأمراض . وفيها بعد ثم الاعتراف بأن كل تصنيف للأمراض يحتمل التعميه ، وتصنيف بينل يحتفظ بيميزة أنه كان أول محاولة تؤدي الى « التشخيص الايجابي والتفصيلي » الذي هو من ابتداء القرن التاسع عشر .

لا شك أن التمييز في « وصف الأمراض الفلسفي » - بين علم الأعصاب وعلم « طب الأمراض النفسية » غير واضح ؛ ان السكته الدماغية تجاور فيه الكآبة ؛ ولكن « الوسيط الطبي الفلسفي » حول المس العقلي (1801) يقوم على مستوى أعلى . ومنذ بداية هذا الكتاب ، ينه القاري : « من غير

المجلدي ، الولوج الى هنا ، ان لم يكن الداخل مزوداً بحكم صائب وبرغبة حادة في التعلم . وهو يرفض كل مناقشة ميتافيزيقية . وكل ما هو سائد في المجتمع حول الهذيان ، والهوس ، والزيفان والجنون . وقد عرف ببعض الكلمات الأنواع الأربعة من الأمراض العقلية التي ميزها :

« إن الهذيان ، النصب تقريباً على كل الأشياء يقترن ، لدى الكثير من الموسمين ، بحالة اضطراب وغضب : مما يشكل حالة الهوس بالذات ؛ والهذيان قد يكون محصوراً ومقصوراً على سلسلة خاصة من الأشياء ومقروناً بنوع من الانشده ، وبانفعالات حادة وعميقة : وهذا ما يسمى بالكآبة . وفي بعض الأحيان يصيب الذهول الوظائف العقلية والعاطفية ، كما هو الحال في الشيوخة ، فيتشكل ما يسمى بالعتة . وأخيراً أن تعطيل العقل ، المقرون بلحظات سريعة وأتوماتيكية من الغضب ، يسمى باسم البلهة . »

بابل (Bayle) . - ان بيل Pinel بالتأكيد هو ابي قصده غاسبار - لورانت بايل (Gaspard-Laurent Bayle 1774-1816) عندما عثف الأطباء الذين لا يقولون بتشخيص السل الروي عندما يكون المريض غير نحيل ولا عموم ، وقد مثل بايل ، لأول مرة ، الميل الى البحث عن السل الروي في مظاهره الأساسية . كتب يقول « إن هذا الأسلوب في النظر الى السل الروي ، سخي كخافة العالم الطبيعي الذي يرفض ، وهو يرى سديانة فتية ، إعطاءها هذا الاسم ، لأنها لم تظهر بعد كل سماتها العامة والذاتية . »

وكان بايل أول من تفحص المرضي بالتسمع ، وإذا لم يبن شيئاً على النصت ، فإنه ، على الأقل قد سلم الى لورانس هذا الأسلوب في الاستكشاف . وكذلك أطلق « العدديّة » (numerisme) [عديدة لويس Louis] عندما أصدر هذه الملحوظة : « يمكن التوصل إلى تمييز النوع ، عندما نهم أقل كثرة وبخطورة الدلائل ، وأكثر ببيانها واستمراريتها » وشر « ملحوظات حول التدرجات » (1801) و« بحوث حول السل الروي » (1810 ، 1812) ، و« أداء نظرية وعملية حول السرطان » ووصف الوظائف [استسقاء موضعي] في الرردمة [فم الحنجرة] ، والتحبج الدخني [التهاب جلدي حكاك] ، ثم تصدى ، بعد أونبروغر (Auenbrugger) وكورفيسار ، (Corvisart) ، لسرطان الرئة .

آليبرت وطبابة الجلد - (Alibert) . - نشر جان آليبرت (1768-1837) الذي أسس تعليم طبابة الجلد ، كتابه « وصف أمراض الجلد » من سنة 1806 حتى سنة 1814 . واستقبل استقبالا حسناً ، ولكن مقص الأمراض الجلدية الذي وضعه انتقد بحق ، لأنه لم ينظر الى الأمراض إلا من ظاهرها ، دون أن يأخذ بالحسبان آلام المريض ، والاضطراب الذي تحمله الأعضاء .

كورفيسار (Corvisart) . - ان ما قدمه جان نيقولا كورفيسار (1755-1821) للحركة الطبية المعاصرة مثلث الأوجه : تربية الخواص ، ادخال وتوسيع القرع (النقر) ، معلومات جديدة حول أمراض القلب . وحين نادى بالأولى ، أضاف الى دراسة الأعراض ، تطلب العلامات ، وهي الأهداف الوحيدة التي تجعل الملاحظة فوق الطعن ، والنقر اشتقاق منها ، وهذه الطريقة قد وصفت ، سنة 1763 . من قبل الطبيب الفيني [نسبة الى فينا عاصمة النمسا] أونبروغر (Auenbrugger)

(1722- 1809) في مقالة ، لم تلفت في النمسا إلا انتباه فان سويتن Van Swieten وستول Stoll . وعرفها كورفيسار من خلال الترجمة الريدية الفرنسية التي نشرت سنة 1770 من قبل روزيري دي لا شاسانيه (R. de la Chassagne) . وقدر قيمة الطريقة حق قدرها ، فطبقتها ، وثبتت منها ووسع حقل عملها .

شبه أونبر وغر تسرب السائل بالرميل الذي يصبح صوته ، عند النقر ، باهتاً كلما امتلأ . وقدم كورفيسار المعلومات حول الصوت ، في حالة الرسام (التهاب بالقشاء الجنيني) وأنه قلما يتغير إلا نادراً في الأيام الأولى ، وأن [الطبيب] يلاحظ الخروج على القاعدة عندما يتغير في وضع المريض ؛ وأنه في التهاب الرئة ، يكون التغير أسرع ، وأنه في حالة الربو العصبي ، يرن الصدر جيداً حتى في أعنف حالات الأزمة .

وجهد كورفيسار Corvisart ، في تتبع الأمراض بواسطة النقر المباشر الذي طبقه على دراسة أمراض القلب . وبعد ذلك أخذت البدائل تتابع : نقر مباشر بواسطة قطعة صغيرة مدورة من العاج ، أو بالأسلوب الأبسط والأدوم ، عن طريق الاصبع بالذات . وكان نشر كتاب كورفيسار الثاني « محاولة حول الأمراض والاضرابات العضوية في القلب » (1806) حدثاً عظيماً أيضاً . وقد لاحظ كورفيسار تأثير الأسباب الاجتماعية والأخلاقية ، فزعم أن الاصابات العضوية في القلب كانت « أكثر وقوعاً في الأزمنة الصعبة من الثورة الفرنسية ، مما كانت عليه في الهدوء العادي واستتباب النظام الاجتماعي » ، في هذا الكتاب المقسوم الى خمس طبقات من الأمراض كشف السابق في علم أمراض القلب عن نفسه ؛ تمتد التحويلات اليمنى يترجم بانتظام النبض ، نفث الدم ، الصورة البنفسجية شبه السوداء ؛ وتمدد الأذين الأيسر يتطابق مع ضيق الصمام التاجي أو القلنسي ؛ والمرض الأزرق مرتبط بتشمؤ قلبي ، وانكسار القلب يحدث خفقتان مع تحدر في الذراع الأيسر ، ووهناً واصفراراً بالغاً الخ

شومل Chomel وعلم الأعراض (دلالات الأمراض) .. تشكل الباتولوجيا [علم الأعراض] العامة لدى شومل (1788- 1858) أول محاولة لرفع هذا الفرع من العلم الطبي فوق الفروع الأخرى (1817) . من أعلى أنها تهيمن على كل الأمراض ضمن إطار واحد ، كما يقول شومل « حيث نرى نقاط الاتصال بين هذه الأمراض ، ونرى الروابط التي تجمعها » . عن علم الأعراض هذا ، المرسوم في هذا الكتاب ، حاول لاندري - بوفي Landré-Beauvais (1808) ، ودوبل (Double) (1811 حتى 1822) أن يقدموا تعريفات واضحة ، دون إدراك ذلك . وقد حاولا طويلاً البحث عن كيفية تعريف الأعراض (ظاهرات ذاتية شخصية في المرضي) والعلامات (ظاهرات موضوعية) ، وكان لدوبل الفضل في الفكرة الموقفة وهي تذكر رأي زيمرمان Zimmermann ؛ ويجب أن تقع الأعراض Symptômes تحت الحواس ؛ أن المرض لا يكشف عن نفسه بالتحليل العقلي ؛ وكذلك يمكن تماماً التعرف على كلي أعراض مرضي ما ، دون أن تتكون لدينا أية فكرة عن العلامات التي تنتج عنه . أن المريض يُشاهد واقفاً ، يجشي ، أو يستريح ، متسلحاً أو جالساً ، في حالة اليقظة أو النوم . وتلاحظ تلونات الجلد المختلفة ؛ ويتم جس النبض بشكل مهيب ؛ فيعرف تسارعه ، أو تباطؤه ، قصره أو ندرته أو ضعفه ، أو قرعته . إن قياس الحرارة ليس ضرورياً ؛ وحالة الحمى لا تعرف إلا باللمس ، ومن إحساسات المريض . في سنة 1817 ذكر دوبل طريقة جديدة مفادها « وضع الأذن تلمأ فوق القلب » ، ورأى أن الأطباء « يستمدون من تلك المعلومات الأكثر إفادة » .

لاينك Laennec والتسمع .- وجاء بعد دويل بقليل تيوفيل لاينك (Théophile Laennec) (1781 - 1826) الذي نشر سنة 1819 كتابه «التسمع غير المباشر» (Auscultation médiate). والطريقة تسمى «عن الحركة التنفسية وعن خفقان القلب». ولكي لا يضع أذنه على صدر المريض اخترع لاينك السماع كوسيط. وهكذا نشأ الاستماع غير المباشر الذي يتعارض مع الاستماع المباشر الذي أُلِّم كثير من المعاصرين في ممارسته. وهكذا انصرف الى دراسة طويلة للضجة التنفسية واضطرابات. واستلهم موضوعه، فتجاهل فائدة الخفقان، وريnaud (1829) هو الذي لحظ تدني أو زوال الخفقان الصدري في حال ذات الجنب. وخصص القسم الثاني من كتاب لاينك لدراسة أمراض الرئة والقلب. وركز فيه على السل فاعتقده أنه غير معد رغم أنه قد راح ضحيته. وقبول اكتشاف الاستماع بقبول حسن، مع بعض التحفظات، من قبل برنتر Berentz (في برلين) وناس (Nasse) في بون، وسوميرين (Soemmering) في فرانكفورت، ودونكان Duncan (في أدنبره) وسكودا Skoda (في فينا)، الذي بقي كتابه «كتاب النقر والتنصت أو الاستماع» (فيينا 1839) (ترجمة فرنسية 1854) كلاسيكياً. وترجم مؤلف لاينك الى الانكليزية من قبل ج. فوربس J. Forbes (1834). وفي فرنسا، كان برتن Bertin وبويار Bouillard، ولويس Louis ولرميني Lermier واندرال Andral، من بين الأوائل الذين اعتمدوا الاستماع، ولم يوفر اندرال وفورنت Fournet لاينك من الانتقادات. وعكف فورنت (1839) بشكل خاص، على البحث عن خصائص السل الرئوي في بداياته، فافتتح دراسة سماعية سوف تدوم مئة سنة. واعترف بات Bath وروجر Roger (1841) «أن السماع مضلل في أغلب الأحيان». ولكن لوجيمودي كرجارادك Lejumeau de Kergardec اقتصر، سنة 1822 على تتبع أصوات الجنين عبر الغشاء البطني، وقد تمّ التنبه لها منذ 1818 من قبل مايور Mayor، في جنيف، ثم نشر، سنة 1822، أول دراسة عن الخدمات التي يؤديها الاستماع الى قلب الجنين أثناء الحمل.

نظام بروسي (Broussais). - ان مطلق محاولة لكتابة تاريخ الطب لا يمكنها أن تغفل ذكر بروسي العقائدي (1772-1838). كتب عنه بوثيت Bouchut سنة 1873 «إذا كان في نظامه فكرة صحيحة فسرعان ما نشوه طبيعتها، عند هذه النقطة، وتسوء بفعل مبالغة المعلم وتلامذته بحيث تصبح منكورة». يقول بروسي ان كل حي تأتى من التهاب المعدة؛ والاستطباب الذي يقترحه، مع بعض التحفظات، يقوم فقط على ثلاث تعليمات: الحمية، المسهلات، وتعليق الطلق؛ وقد تسبب بالعديد من الكوارث. ولحسن الحظ أثارت نظرياته ردات فعل حادة من قبل المفكرين الأحرار؛ ولكنها لاقت محيذين دافعوها عنها بعناد.

ايتارد Itard وبرتونو Bretonneau. - كان فضل غاسبار ايتارد Gaspard Itard (1774-1838) مثلاً: فقد وصف الاسترواج الصدري (Pneumotorax) التلقائي (1804)؛ وأمنت له مراقبة عصي شاب ابوة «علم الغدد الصماء» (1800-1799)، ثم ان كتابه «حول أمراض الأذن والسمع» (1821) هو الأول من نوعه.

أما يبار برتونو (Pierre Bretonneau) (1778-1862) الذي كان فكره يصبح باستمرار المفرضية، فقد مارس وعمل أكثر مما نشر وأذاع. فأثناء وباء الخناق، تعرف على خصائص مرض

« الخناق ذي الأغشية المموهة ، فصنفه تحت اسم الدفتيريا أو الذبحاح (1826) ؛ وجمع حالات من الحمى المتطورة الى عدة أشكال ، مع وجود اضطرابات معوية تحت اسم (dothiénenterite) « دوتيتنتريت » وعزاها الى أثر عامل ذاتي . هذا المرض الذي أطلق عليه لويس اسم « الحمى التيفوئيد » قد أشهره تروسو Trousseau سنة 1826 .

لويس والعديدية numérisme .. مع بيار ش. آ. لويس (Pierre-Ch - A. Louis) (1872-1877) بدأ الطب المسمى طب الملاحظة والمراقبة والمرتکز على الطريقة العددية . وكتابه « بحوث حول السل الرئوي » (1825. 1843) يتضمن خمسين حالة عيادية ، وتشريحية استبطانية ، معروضة وفقاً لتعميم موحد . وإذا كان لاينك قد اهتم بشكل خاص باتساع الاصابات ، فقد اهتم لويس بانتشارها . في كتابه « بحوث حول حمى التيفوئيد » (1829) ، ذكر كل المؤشرات ، ومن مجملها يستكشف المرض . إن هذه الطريقة تبعد كل من يطبقها عن التأكيدات غير المراقبة ، وهي تتعارض باطلاق مع أفكار روسي Broussais ، التي حاربها لويس بضراوة وصواب في « بحوث حول الفصد » (1828) وه فحص م . بروسي (1834) . وكان تأثيره بالماً الى درجة حملت ثلاثة طلاب جنيفيين على أن يؤسوا في باريس « الجمعية الطبية للرصد والمراقبة » (1832) ، حتى يواجهوا تلامذة المعلم مع خصوم منفعلين لا يقبلون - كما يقول و . س . جيفول W.S. Jevole (ذكره ر . هـ . شريك R H Shryock) « بأن تكون الدقة العددية روح العلم بالذات » .

اندرال Andral وكروفيليه Cruveilhier .. زود غريبال اندرال (1876-1879) العلوم ب « موجز تشريحي استبطاني » (1829) وب « بحث في استبطاب الدم » (1843) وبأربعة مجلدات حول « العيادة الطبية » (بالاشتراك مع لرمييه Lermier 1823-1827) . وفي « أطلس التشريح الاستبطاني ، المنشور سنة 1822 ، يميز جان كروفيليه (1874- 1791) تماماً بين قرحة المعدة والسرطان ، ولحمة كتلميذ لبروسي ، فإنه يعالج حتى يصق الدم بالعلق . ومساهمته في دراسة التهاب الوريد ، والكبد الحبيبية ، وانقطاع القلب ، والنقطة الدماغية ، والأكال الرئوي ، بقيت مشهورة .

ريشار برايت وأمراض الكلى (Richard Bright) .. إن إيجاز ريشار برايت (1858-1789) المبني في « غيس هوسيتال » في لندن ، قد ربط اسمه في مجموع الحوادث المرتبطة بالأمراض المزمنة للكلى ، إن مذكرته العائدة لسنة 1827 تضم البول الزلالي والاستسقاء ، والاصابات الكلوية ؛ وهذه الاصابات بحثت من مختلف الأوجه . ولما كان « يساوي بين المرض والحلل » (لاسينغ Lasègue) ، فقد عرف ، مع تلميذه كريستيزون Christison تراكم البولة في دم المرضى بمرض برايت [التهاب الكلى] . أما تقديمه الشخصي فيقوم على المراقبة الميكروسكوبية للبول ، وعلى وصف الكلية المتحركة والتهاب الكلية [مرض برايت] بعد الحمى القرمزية .

غريزول ، ر-ج غرافس وتأثيرهما (Grisolle, R-J. Graves) .. إن تأثير بعض الرجال يعود الى الكتب المهمة التي نشروها . من ذلك أن آ . غريزول A. Grisolle (1869-1811) عُرف من خلال كتابه « معالجة ذات الرئة » (1841) وه معالجة اولية للاستبطاب الداخلي (1844) التي طبعت عدة طبعات ، أما روبرت جلمس غرافس (Robert-James Graves) (1853-1796) من دولين والذي ندين

له بوصف رائع للغة الدرقية الجاحظة (1835) فقد كان أعظم مثل للطب الايرلندي ، في القرن التاسع عشر ، وقد عمل على تطوير وحياء التعليم الطبي في دويلن ، ونشر « نظام الطب العيادي » (1843) ، وه محاضرات عيادية حول ممارسة الطب « (1848) الذي كان له تأثير ضخم ، في فرنسا بشكل خاص ، حيث قدر بريوتون Bretonneau وترووسو Trousseau وشاركوت Charcot عمل غرافس حق قدره .

2 - تطور العلم الطبي

قياس الحرارة العيادي - بعد بحوث آ. دي هابن (A. de Haen) في فينا سنة 1759 أهمل قياس الحرارة العيادي . والرقميون أنفسهم لم « يأخذوا » الحرارة إلا بواسطة اليد التي تلمس الجلد . وبدأت ردة الفعل ضد هذا الإهمال مع اندرال ، الذي درّس في خدمته في المستشفى ، درجة حرارة المرضى . وأول عمل انبثق عن هذا البحث (1839) دار حول ست حالات من الحمى المتقطعة (مع غافارت (Gavaret)) .

الجراحة .- كتب ب لوسين (P. Lecène) : « لم تختلف الجراحة حتى سنة 1850 إلا بالتفاصيل عن الجراحة التي كانت متقدمة جداً في أواخر القرن الثامن عشر » . وفي دوبويتن ، حيث أعجب به معاصروه ، لم ير لوسين Lecène الا حواشاً راعياً في إعطاء فنه قاعدة تشريحية استطبابية . ان علم أمراض النساء قد تطور بفضل تأثير ريكاميه (Récamier) (1774- 1852) لوم تفسط خبيات الأمل الكثيرة الجراحين الى العدول عن رأيهم . وكان دومينيك لاري Dominique Larrey (1776- 1852) ، مبتكر المستوصفات القالة ، وبرسي Percy (1754- 1825) يتنافسان في إظهار البراعة في ساحات الحرب . وابتكرت تقنيات جديدة : بتر المفاصل جزئياً في الرجل (ليزفرانك) (Lisfranc) 1814 ، تصليح الأرجل المشوهة (دليش Delpech 1816) ، تقطيع غشاء الغلصمة والمجان [الفاصل بين الذكر والشرح] (لمبرت ، Lambert 1826) وعملية تفتيت الحصاة في المثانة (سيفيال Civial 1830) ، والشرح الاصطناعي (أموسات Amussat 1835) . في سنة 1835 ، بين اران (Aran) ان شحُ القبة الجمجمية ينتقل عادة الى قاعدتها .

في انكلترا لمع اسم أستلي كوبر Astley Cooper (1768-1841) الذي عالج الفتوق ، ونجح في تقطيع الشرايين الكبرى : في أميركا استخرج أ. مكدويل (E. McDowell) ، سنة 1809 كيساً دلياً من المبيض ؛ في ألمانيا ، اشمل ستروميير Stromeier ثم ديفنباخ Dieffenbach شق الوتر حول العين وأشاعا الطريقة في أوروبا . وحاار كتاب جراحة المفاصل الذي وضعه سيرجامس برودي (Sir James Brodie) (1818) وكتاب الكسور الخلع الذي وضعه مالغينييه (Malgaigne) (1847) شهرة واسعة .

التبنيح العام .- بدأ التبنيح العام بالصاق « البروتو اوكسيد الأزوت » على قلع الانسان من قبل هوراس ولز Horace Wells الذي جعلته نهاية ميمية حذراً الى درجة الامتناع ؛ ولكن الفكرة كانت جميلة جداً فلا يمكن إلا ان يستعيدها أحدا ما . وحصل و. ت. ج. مورتون (W.T.G. Morton) ، بنصيحته من جاكسون ، على نجاحات حين استعمل بدلاً من الغاز المضطك ، الأثير الكلوريدريك ، ثم الأثير السولفوريري الذي استعمله لونج Long سنة 1842 وأدّى عمله إلى لصقة الجراح وارن Warren الذي تعود أولى محاولاته الى سنة 1846 . وبعد ذلك بعدة أشهر ، في انكلترا ، استعمل

ليستون الأثير للتخدير عند إجراء بتر الفخذ ؛ وفي سنة 1847 استعمله سمبسون (Simpson) في عمليات الولادة ؛ وفي باريس ، كان جويرت دي لامبال Jobert de Lamballe أول من استعمله ، وفي روسيا كان الأول بيروغوف (Pirogov) . وأثار الكلورفورم الذي اكتشفه ، بشكل مستقل ، كل من الفرنسي سويران (1831) ، والألماني ليبيج (Liebig) (1832) والأميركي س. غوثري (S. Guthrie) (1832) ، الخلاف بين الجراحين الذين كانوا من أنصار الأثير إلى أن قام سمبسون بتجربته في انكلترا ، ومالغنيه (Malgaigne) في فرنسا . قال ج. روشار (J. Rochard) « لقد قضى التخدير [التبنج] على الجراحة المشعومة ، وكان هناك جراحون قدماء لم يمتنعوا عنها » .

إصابات عدوى التفاس .. وقام صراع شديد جداً من أجل إزالة هذه الجراحة ، وقاد الحملة ، في النمسا سملويس Semmelweis (1818- 1865) بصلابة حطمت قواه ، وفي أميركا أوليفرونديل هولز Oliver Wendell Holmes (1809- 1894) الذي شاهد انتصار أفكاره .

الأمراض الزهرية .. في سنة 1838 ، انتصر فيليب ريكورد Philippe Ricord لهرناندز (Hernandez) الذي أكد (1810) أن التعقية تحدث دائماً تعقية لا قرحة ، وعارض ولاس Wallace الذي اعتقد أنه وضع أسس عدوى عوارض السفلس الثانوية ، ومنذ 1811 قال لانيو Lagneau بأن الجنين يصاب بالعدوى من أمه المصابة بالسفلس ؛ في سنة 1837 أورد كولس Colles ، في لندن هذه الملاحظة : « لم أسمع أبداً يقول أن ولداً وراثياً للسفلس قد تسبب بتقرح نهد أمه » ؛ وفي سنة 1840 عبّر بومس Baumes عن نفس هذه الفكرة التي سماها ديداي (Diday) (1854) « قانون كولس - بومس » (Colles-Baumes) .

التلقيح والأمراض المعدية .. منذ 1800 أصبح التلقيح ضد الجدري موحداً في فرنسا بفضل الدوق لاروشفوكو- ليانكور ثم تسرب إلى باقي أوروبا وفي سنة 1804 أوحى بروست أن الحميات الاختلاجية هي ذات علاقة بالأمراض التي تصيب الأغشية المخاطية في الأمعاء . ويمكن اعتبار بيتي ورس (كتاب في حمى الأغشية المعوية أو حمى المساريق) كطليعين سابقين ليريتو ولويس ، لو أنها لم يعتقدوا أنها اكتشفا مرضاً جديداً بدلاً من قيامها بتفسير أمراض مجهولة كانت تختفي تحت أسماء لا نهاية لها . في سنة 1825 ، حدد جيوفاني روسي مكان فيروس الكلب في الأنسجة العصبية . وفي سنة 1834 حارب مايوت حمى الملاريا في الجزائر بسلطات الكينا فانخفض معدل الوفيات من 23 % إلى 3 % ونفس السنة كتب جان هامو في « دراسات حول الفيروسات » ما يلي : « يجب أن يكون للأمراض مبدأ حياتي لأنها تنصرف وتعمل كحشرات طفيلية » (راجع أيضاً حول هذا الموضوع دراسة م. كوليري Caullery القسم V ، الكتاب I ، الفصل IV) .

علم الأعصاب أو النيورولوجيا .. في جنيف وصف ج. فيوسو ، أثناء وجوده وباء (1805) ، التهاب السحايا الدماغية الشوكية ، وأثناء تنافس الملاحظات وتثبيت سمات المرض ، كان يتبع الوباء من مدينة إلى مدينة مع تنقل الفرقة العسكرية (ش. برومي ، 1844) . وفي سنة 1810 قال بوتاني بوجود قرين بين رقص سيدنهام والروماتيزم المفصلي الحادة . واستناداً إلى سلاسل رقمية نجح بويو Bouillaud في استخلاص قوانين تطابق الاشتراكات القليلة الناتجة عن الروماتيزم المفصلي الحادة (1832- 1835) .

في سنة 1817 ، عزل باركنسون Parkinson ، في لندن ، الشلل الارتعاشي . في سنة 1819 عكف سرس على دراسة التزيف في السحايا ، وفي سنة 1824 تنبأ الصرع الجزئي . ودرس روشو من سنة 1813 الى سنة 1833 الانسداد الدماغي الضارب فجأة والمقرون بالقيوية . ورؤ روستان الى الميوعة في الدماغ ، الشلل البطيء البداية والذي يتفاعل نحو القيوية النهائية (1819) . وفي سنة 1822 بين بابل الحفيد أن الحبل هو في بعض الأحيان مؤثر على التهاب مزمن في الغشاء الدماغي العنكبوتي وهكذا ظهرت الاصابة التي اتخذت فيما بعد اسم الشلل العام المتصاعد .

وأعطى سيرشارل بل Bell (1774-1842) اسمه لشلل الوجه (1821) . ووضع بويو Bouillaud مركز الكلام في التجويفات الخلفية من الدماغ (1823) . وأوجد أوليفي كلمة « سيرنغومييلي » (Syringomyelie) أو تكهف النخاع الشوكي ، وركز على النزف فيه وعمل التهاباته الحادة . وعرف بينل Pinel الابن في سنة 1833 أول وصف للتصلب الدماغي أو الشفان ، وفي سنة 1835 ميّز كرسول Carswell (من لندن) بين الميوعة الدماغية الانتهائية والميوعة الناتجة عن تلف الشرايين . وبعد ذلك بسنة ذكر مارك داكس أن نسيان اشارات الفكر واضطرابات الفكر والكلام ، لا تظهر إلا في شلل الدماغ الأيمن الناتج عن إصابة في نصف الدماغ الأيسر ، ونذكر أيضاً أن فالليكس Valleix درس الآلام العصبية في الذراع وحدد النقط الحساسة لانطلاق الأعصاب وذلك في كتابه « كتاب الآلام العصبية » (1841) .

علم الطب النفسي .. جمع برير دي بواumont Brierre de Boismont عناصر الجنون الناتج عن السكر (1832) ؛ ودرس اسكيروال الوسواس المرضي الذي يتحكم بفعل منته الاحشائي ، بالطب النفسي والعقلي (1839) . وتفحص مارك الجنون في علاقاته القضائية (1840) . وأوضح جورجت Georget وديلانج Delange ، وخاصة كاليل Calmeil (1845) دلائل رئيسية والاصابات المزمنة في الغشاء العنكبوتي في الدماغ المسماة «أراكنيتيس بابل» (arachnitis Bayle) . وفي ألمانيا كان غريسنجر Griensinger مؤلف كتاب كبير في « علم الأمراض وعلم استطب الأمراض العقلية » (1845) .

القلب والأوعية .. حوالي سنة 1824 ذكر كولن Collin ، في بداية « التهاب الشغاف » (السكتة القلبية الحادة) ضجة الجلد الجديد ، احتكاك فات فراسة لاينك Laennec . وفي حالة الانصباب أو الانسكاب ، ذكر لويس تباعد ضجيج القلب . وفي سنة 1829 ساهم دانس في تاريخ التهاب الوريد الرحي « الغامض في دلائله ، والمحائل في مساره والغني بالتعقيدات » . وكانت دراسة بيزوت Bizot حول أحجام القلب (1834) ذات قيمة . وفي سنة 1836 أطلق بو Beau اسم « أسيتولي » ، استرخاء القلب ، على المرحلة الأخيرة من الاصابات القلبية . وفي انكلترا درس هودغسون Hodgson منذ سنة 1815 ، انتفاخ الزتين أو الاورطي ، وفي سنة 1827 وصف القصور الوتبي ، وفيه تعرف كوريفان (1832) على « النقص في الشرايين غير الممتلئة » القافز والمتردى . وركز هوب سنة 1832 على الاضطرابات الوظيفية المرتبطة بالخلل في العضلة القلبية (الاستسقاء، عسرة التنفس) .

الجهاز التنفسي .. عرف بومس Baumès ، من مونييه أن السبل معد ، خاصة من الأم الى الطفل (1805) . وفي سنة 1819 ، أي ذات السنة التي نشر فيها لاينك « التنصت المباشر » تنبأ

كارسون ، من ليفربول ، وهو سابق على فورلانيي Forlanini ، بالتأثير المقيد لإراحة الرئة المريضة ، وذلك بإدخال الهواء في فجوة الغشاء الرئوي .

ولاحظ ستوكس Stokes من دويلن أن إدخال الهواء والأزوت في التجويف الرئوي يمكن أن يفيد ضد تطور السل الرئوي (1826) . ووصف لويس وجاكسون الانتفاخ الرئوي (1833) . وركز كوريفان سنة 1838 على تصلب النسيج الملحمي في عمدة الشعب أو الجيوب . وبين ليجندر Legendre وبالي Bailly بأن الالتهاب القصبي الرئوي من انثاره التحام النسيج النبيل في الرئة (1844) . وقدم والز دراسة خالدة حول الاحتقان الرئوي (1846) .

طب الأطفال . - مذكر أولاً « كتاب أمراض الأطفال المولودين جديداً » رُضع « (1828) لبيارد (Billard) ثم « كتاب أمراض الطفولة » (1843) لبارتز Bartz ورييت Killiet الذي يشمل الاستطباب في أواخر السنة الأولى حتى البلوغ . ومن بين البحوث الأكثر أهمية المتعلقة بأمراض الطفولة يظهر التحارص بين الكوليرا الطفولية والكوليرا الاسبوية (ماريش Parrish ، الولايات المتحدة الأمريكية ، 1826) ، وكذلك مراقبة مرض حاصل أثناء الوباة اسماء كومل Chomel « اكروديني » (acrodynia) أو ألم الأطراف . وأكد ج. غيرين Guérin أن الكساح يبدأ بظواهر عامة ، وليس بتشوهات عظمية (1837) ، ولفت غروير Gruère الانتباه إلى مرض الاستفراع الدوري (1840) . وعزا ش. روبين Robn القلاع [مرض فطري في الفم] إلى غوفطر اسمه « أوديوم البيكان » (odidium albicans) (1842) . وعزل فيرشو اللوكيميا (سرطان الدم) (مرض اللعقا بالسرطان الدموي) (1845) . وذكر لوبستين Lobstein تحت اسم « أوستيو بسايتروز » (Osteopsathyrose) الضعف العظمي المرافق للولادة (1825) .

علم السرطان . - ميز لوبستين Lobstein الأورام ذات الشكل المعين (Holomorpha) والأورام المتنوعة الأشكال (1825) ، وفي سنة 1838 ، وضع الفيريولوجي الألماني الكبير جوهانس مولر Johannes Muller ، صيغة القانون الأساسي : أن النسيج الذي يُشكل الورم له غودجه في نسيج عادي طبيعي أو جنيني .

طبابة الجلد . - منذ بداية القرن ، كان تصنيف أمراض الجلد ، المنشأ بين 1798 و 1812 ، من قبل الطبيب الانكليزي ويلان Willan ، قد أتبع بتصنيف البيرت Alibert ، ثم بتصنيفات رابر Rayer (ماريس 1835) ، وهبرا (Hebra) (فينا 1845) . في سنة 1829 ، وصف جان هامو (Jean Hameau) الحصفاء (البرص الإيطالي) وعزاها إلى أثر بعض المزروعات الحبوبية الفاسدة .

الكبد . - مع ج. ل. بابل G.L. Bayle بدأ تاريخ سرطان الكبد . ومع لانينك Laennec ، وبرايث Bright وبويو Bouillaud ، بدأت دراسة تليف الكبد . ومع أندرال Andral (1834) ، وكورفيليه Curvetlier وبيكرل Becquerel (1840) تم التعرف على أمراض السلس في الكبد . وقد ساهم أيضاً في هذه المكتسبات أبركرومي Abercrombie ، وهوب Hope وكارسول Carswell في انكلترا ، وديترش Dittich وفون أوبولزر Von Oppolzer في ألمانيا

طب العيون والأذن والأنف والحنجرة . - لفت دالتون ، من مانشستر (1798) ، وتوماس يونغ

(1807) الانتباه حول اضطرابات رؤية الألوان . وأجرى A. Cooper ، في سنة 1832 ، أول شق لطلقة الأذن ؛ ومنذ بداية القرن ، جرت المحاولات لتسليط الضوء على الخنجرة لدراس الأمراض في هذا العضو . وقبل أن يتحقق هذا الإنجاز ، تم عزل سبل الخنجرة ، في فينا من قبل روكستانسكي Rokistsansky (1846) .

علم القبالة . - ورث بودلوك (1746- 1810) عمله الرصدي الدقيق حول الولادة الطبيعية ؛ أن التشوهات في الحوض كانت معروفة حزئياً (ناجيل Naegle ، 1839 ، روبرت Robert ، 1842) . إلى شدة الطلق ، الموصوفة سابقاً ، أضاف ديفيلر (Devillers) ورجر (Regnault) ، هذه المؤشرات التي تخيفها: الانسقاء ، والزلال . ودخل تشييق الأثير والكلوروفورم في الممارسة الولادية ، وبسرعة كلية بعد دخولها في الاستطباق ، بفضل سمبون ادنيورغ (Simpson d'Edimbourg) .

التشريح والفيزيولوجيا (علم وظائف الاعضاء) . - في فرنسا ، نشر بورتال (Portal) (1742- 1832) في سنة 1803 « محاضرات في التشريح » ، في خمسة مجلدات . وراجع شارل لويس دوماس (Charles-Louis Dumas) (1765- 1813) التسميات العضلية بشكل ذكي . وكانت كتب بورجرى (Bourgerie) ، ومالفيني Malgaigne ، وب . آ . بكلارد P.-A. Bécclard ، وكروفليه (Cruveilhier) وهـ . ل . روجر (H. L. Roger) وفسو (Velpeau) قد قدرت أعلى تقدير . وغرّص غال (Gall) (1758- 1828) الذي كان وصفه للجمجمة موضوع جدل ، تعريضاً باهراً عن قصوره ، في تشريحه للجهاز العصبي ، حين ميز بين المادة الرمادية ، مهاد الأعصاب ، والمادة البيضاء ، موصلة التبار العصبي . وقد شارك في هذا التشريح آل مونرو (Les Monro) (إنكلترا) والأبطلانيان رولاندو Rolando وپانيتزا Panizza ؛ وفي إيطاليا أيضاً عمش سكاريا Scarpa (1747- 1832) التشريح الطبوغرافي [الوصف الدقيق للسمات السطحية] بدراسة المناطق الفنية والمجاورة ؛ في ألمانيا نشر ف . ج . جاكوب هنل (F. G. Jacob Henle) تلميذ بيشات Bichat التشريح العام « الجمينا آناتومي » (1841) ، واكتشف أنابيب الكلية ، والخلايا الكبدية ؛ وقرن لوشكا اسمه بالمنطقة البطينية .

وفي مجال الفيزيولوجيا (ان تقدم الفيزيولوجيا الحيوانية قد تم تحليله من قبل ج . غانغليهم G. وم. كوليري ، في الفصل VI من الكتاب الأول) تعطي الجولة الأفقية أساء برزيلوس الذي اثبت وجود الحديد في الدم (1807) وليفالوا الذي حدد موضع المركز التنفسي في البصلة (1811) ، وشارل بل (Charles Bell) وماجندي (Magendie) اللذين أوضحا ، عل التوالي ، دور الجذور الأمامية والخلفية للأعصاب العقارية . ودرس ليبغ Liebig الطبقات الكبرى الثلاث في الأطعمة : الشحوم ، الزيلايات ، وهيدرات الكربون (1842) ؛ أما وظائف العقد (الغدد اللمفاوية) القلبية فقد أوضحها ريماك Remak (1844) ، ولدوينج Ludwig (1848) ، وبيدر Bidder (1852) . وبين الأخوان وبر Weber بأن العصب الميهم [العصب الرئوي الهضمي] هو العصب المنظم للقلب (1845) . وسهل تفهم فيزيولوجيا الجهاز الهضمي بفضل ملاحظات بومون الذي راقب مفاعيل القرحة المعدوية عند صياد كندي (1832) .

علم المداواة . - تقرر وضع « قانون الأدوية الفرنسي » (Codex medicamentarius Gallicus) في

السنة الحادية عشرة [من الثورة الفرنسية] . وظهرت أول طبعة سنة 1816 ، والثانية سنة 1837 ، إذ فيها يقول المقدّم : « لا شيء » يعتق مثل علم الأدوية » . وقدمه أو عتقه مرهون بعدد الأدوية الجديدة التي تزيد أو تغير في مجاله . .

من ملح الأفيون الذي سبب الى ديرومن Derosne (1803) استخراج سرتورنر (Serturmer) المورفين (1817) ، وحضّر بلتيه Pelletier وكافنتو Caventau الكينين (1820) ، ثم ان الاترويين [اللفاحين] (مين 1831 ، Mein) ، والكوديين (روبيك 1832 Robiquet) ، الديجيتالين [سُم] (هومول Homolle) وكيفين 1844 Quevenne) خرجت من المختبرات . وهناك اكتشافات أخرى تعود في تاريخها الى تلك الحقبة : اليود (كورتوا ، 1811) ، اليودو فورم (سيرولاس ، 1822) ، الكلوروفورم (سويران ، 1831) ، الكلورال (ليبينغ ، 1832) ، الفينول (رونج ، 1834) ، البيسين (شوان ، 1834) .

وبين اكتشاف هذه المواد واستعمالها في التطبيق مضى زمن للتأمل . كما تم التخلي عن الفصد المنهجي والوصفات الجاهزة . وأخذت انتقائية أندرال تتأرجع ، وقطع بريتونو بوضوح كسر علاقاته بالممارسات السابقة ، وقام بمحاولات تجريبية وسمح لنفسه أن يغذي المصابين بالتيفوئيد بماء الكلس المطعم بالحليب الساخن والسكر . وفي كتابها (1836-1837) قدم تروسو ويبدو معلومات غزيرة حول الممارسات في تلك الحقبة . وكانت أدويتها المفضلة هي الحديد والعفص . وأمرًا بالعرك الزئبقي ضد الاصابات الأولية في الفلسف والروماتيزم المفصلي الحاد . ولم يكن الدواء المهيج الذي يثير إصابات في مركز آخر ، من أجل القضاء على المراكز السابقة ، بمستكر عندهم . وإذا كان الفصد في نظرهم مفيداً في بعض الأحيان فانهم كانوا يعتبرونه أيضاً ، وفي الغالب ، مشكوكاً به . وفي الأمراض الحادة كانوا يصفون الراحة والحمية والسوائل اللطيفة والمسكنات الموضعية المليئة والحمامات الفاترة وكان للأفيون ومشتقاته ، ولزيلات التشنج ، مثل المسك والتاردين (Valeriane) وللمنومات والمسكنات مركز مفضل بين الأدوية المنصوح بها . وكانوا يمتدحون القطران في الاصابات الرئوية ، والماء البارد لمفعوله الاشفائي ، وكذلك ضمادات الثلج على المعدة بالنسبة الى المصابين بالتيفوئيد ، والحمامات الباردة ضد التشنج النفاسي ومفعول البيموث (الذي نصح به أوديه ، من جنيف سنة 1786) ضد أوجاع المعدة وضد الاستفراغ غير المقرون بالحمى وكذلك لاستفراغ الأطفال . وكان تروسو ويبدو متحفظين جداً حول استعمال السورنجان (الكولشيك) ، الموصوف ضد التقرس ، منذ سنة 1814 ، من قبل أطباء انكليز ، كما كانوا متحفظين ضد استعمال الكافور ، رغم الدعاية التي لا حدود لها والتي قام بها رسبيل Raspail ، ولكن في الأمراض العضوية الغلبية استعملوا اليمعية (ديجيتال : مادة سامة) التي لم يكن مفعولها المقيد مقبولاً عند لاينك (Laennec) .

الطب الشرعي - بدأ به شوسيه Chaussier ، وكابانيس Cabanis وفوديري Fodéré الخ ثم مارسه بين 1819 و1823 أورفيل أورفيل Orfila (1787-1853) التخصص في علم السموم . وكان هذا العلم موضوع بحث قام بها رونيكا Rognetta في بايي Pavié ، وكريستيسون Christison في ادنبره . وفي ألمانيا نشر هنكي Henke وليمان Liman كتاباً عن الطب الشرعي . وعلم ب . فرنك هذا الفرع من الطب في بايي ثم في فينا .

الطب الاجتماعي .. يبدو أن ديجينيت Desgenettes (1762- 1837) نصح بونابرت ، أثناء الحملة على مصر (1798-1799) أن يدعم جهوده من أجل التطفل الصحي ، بحيث اعتبر هو مبتكر الطب الاجتماعي . وصدر قانون في انكلترا منذ سنة 1802 ، يحدد بانثي عشرة ساعة في اليوم مدة عمل المتفرجين والمساعدين . وتخصص شارل تورنر نكرهه (1831) وكاي Kay (1832) في انكلترا ، وماكس كريدني Cready في نيويورك ، وهالفورت Halfort في ألمانيا ، في دراسة الأمراض المهنية . وفي سنة 1832 اعتبر و. فار (Farr) الفقر وكأنه « المؤثر القوي للمرضى » . وكان « جدول الحالة البدنية والمعنوية عند العمال » (1840) الذي وضعه فيلرمي Villermé ذا وقع كبير . وجهود هذا الطبيب هي التي أثمرت القانون الذي نظم عمل الأطفال في المصانع اليدوية وفي المعامل والمحترفات (1840) . واتخذ القانون الفرنسي المؤرخ في 30 حزيران سنة 1838 حول وضع المتفرجين ، كنموذج في العالم . وفي سنة 1841 ، طلب لويس Louis القيام باستقصاءات في كل الأماكن تفتشاً عن السل ، في حين نصح ريليه Rilliet وبارتز Barthez بدراسة شروط حياة الأطفال المرضى . ومثل بينل Pinel في باريس وشياروجي Chiarugi في فلورنسا ، وقد أمرا بإطلاق سراح المتفرجين (1792- 1799) لم يُنقذ في انكلترا إلا في سنة 1837 . (شارل وورث Worth وغاردنر هيل Hill ، وجون كونولي John Conolly) ، وفي الولايات المتحدة سعى كل من دوروثي لند ديكس Dix (1841) ، وتوك Tuke (1842) الى تحسين وضع المتفرجين والسجناء .

II - الحقبة التشريعية العيادية والبيولوجية

نعتبر « ثورة 1848 » [الفرنسية] بداية عهد جديد . فالفككرون الأحرار رفضوا الفلسفات البيولوجية والميتافيزيكية وتشبعوا بالوضعية التي نادى بها أوغوست كونت وأسسوا « الجمعية البيولوجية » . وكانت هذه الجمعية دليلاً على التقدم البيولوجي الذي غيّر الطبابة التشريعية العيادية . وكانت الجمعية أليولوجية منذ بداياتها « مركزاً قوياً للمبادأة » أكثر حيوية وأكثر تحرراً من الأكاديميات » . هكذا صرح م. برتيلوت سنة 1866 . ورثتها راييه ، وناب عن الرئيس كلود برنارد وش. رويين . وصرح هذا الأخير :

« إن هدفنا من درس التشريح ومن تصنيف الكائنات ، توضيح عملية الوظائف . وكان هدفنا من درس الفيزيولوجيا التوصل الى معرفة كيفية تلف الأعضاء ، وإلى أي حد تتحرف الوظائف عن الحالة الطبيعية » .

1 - التيارات الموجهة والمظاهر الرئيسية

كلود برنارد .. كان كلود برنارد (1813- 1878) نجم هذا التجمّع . ووفقاً لبعض الشروط التي ترتفع من مراقبة الأحداث والوقائع الى البحث وإلى التعمق العلمي المستنير بالتفكير ، شبه المراقبة الطبية بالتجربة ، واعتقد أن الطبابة تستطيع « أن تنزل في داخل الجسم وأن تمش على الوسيلة التي من شأنها إحداث التغير والتنظيم ، وإلى حد معين ، في مقومات المادة الحية » . وكانت يحوّه الصورة قد فتحت له الطريق واسعاً ، بفضل دراساته حول العضارة المدوية ، واللعاب ، وعضارة البنكرياس ، والعضارة المعوية ، ودور الكبد في إنتاج الحرارة الحيوانية ، ووظيفتها السكرية (الغليكوجينية) ،

ودوما عودة الى مختلف مظاهر انتاجه الفني (راحم بهذا الشأن ، دراسة ج. كنغويلهم Canguilhem ، وم. كولييري Caullery ، في الفصل VI من كتابه ") . نذكر فقط أعماله حول اشباع الدم بالسكر عن طريق الحنف في نقطة من البصلة السنية (انحاء الشوكي) ووظائف الحنج الكبير المحرك للأوعية الدموية ، وأثر الستريكنين والكورار على الحبل الشوكي ، وأوكسيد الكربون على الكريات الحمراء الخ .

رودولف فيرشو Rudolph Virchow . - كان أستاذاً لعلم الأمراض في جامعة ورزبورغ Wurzburg ثم في جامعة برلين ؛ وابتداءً من سنة 1856 ، أصبح رودولف فيرشو (1821-1902) في مرتبة العلماء الذين يعرضهم حظهم المميز للانتقادات الحادة من معاصريهم ، ولهم أدق وأفضل من الأجيال القادمة . وكانت أفكاره المشورة في كتابه « في أمراض الخلية . . . » (برلين ، 1850، 1858) قد عرضت في انكلترا بفضل سنهاوس كركوس (Senhouse Kirkes) (1852) وفي فرنسا من قبل ش. لاسيغ Ch. Lasèque (1857) . إن علم أمراض الخلايا - المستق عن علم الخلايا النباتية لشليدن Schleiden ، مكتشف نواة الخلية ، وعن الخلية (بروتوبلازما) لبوركيني Purkyne وعن علم الخلايا الحيوانية لشوان Schwann - لم يكن الا ليصل الى هذه البيئة : إن الخلايا السرطانية قلما تختلف عن الخلايا الطبيعية في بنيتها ، بل في سلوكها ، وان هذه البيئة هي ضربة معلم . كتب اتيان ماي يقول : « إن نظرية مولر قد نصرت بنجاح من قبل مواطنه فيرشو . . . الذي استطاع أن يجعلها مقبولة نهائياً . » وأصبحت العبارة « الخلية الكبيرة هي أيضاً خلية » مسلمة مشهورة . وبدل التعداد ، حتى المقتضب لأعمال فيرشو على سعة بحوثه : انسداد الشريان الرئوي (1846-1847) بياض الدم (لوكيميا) ، التهاب الشريان الحاد (1852) الفلغوز (Phlogose) حشر الدم ، الانسداد الشرياني والاصابة بالأمراض (1846-1856) . وإذا كانت الانسدادات الوريدية ليست ، في نظره ، تابعة لأمراض وعائية ، إلا في بعض الحالات ، فهي كذلك بصورة منتظمة ، في نظر أحد تلامذته ، زاهن (Zahn) (1875) . وهكذا تقرر التواصل بين رأي فيرشو Virchow ورأي كروفيليه (Cruveilhier) الذي ربط « الفلغماسيا البالدولس » (Phlegmatia alba dolens) ، بالتهاب الوريد الداخلي الكبير (endoveine) (1838) . ومهما يكن من أمر ، فإن الانسداد الشرياني وخثر الدم يفسران حوادث لم تكن معروفة حتى ذلك الحين . وبهذا المعنى رأى بوشار (Bouchard) (1902) ، في فيرشو أول طبيب قال عن « الكيفية . . . وعن تابع الأحداث المرضية التي يثيرها السبب » .

وحين عزا شاركوت Charcot « الفرح المتقطع الدوري » الى انسداد شرياني ، فقد كان يتبع في ذلك فيرشو (1856) أما م. رينود M. Raynaud ، بالمقابل ، فقد ناهض التعميم (1862) ، فكتب يقول : « اليوم ، يمكن القول أن الانسداد قد ربح الجولة ، ولم يبق إلا المحافظة عليه من المبالغة فيه » ، ولكن « يوجد تشكيلة من الأكالات المفاجئة ، تصيب الأطراف ، يصعب تفسيرها بالانسداد » ، والتي تُرَدُّ الى التشنج الوعائي .

فيلمن (Villemain) وتروسو (Trousseau) . - تبتت تبار « كلود برنارد » في تأليف فيلمن 182-1892 . في غنتر بسيط أولي في فال دي غراس ، حاول أن يُثبت أن السِّل يمكن به في الحيوان ، ونجح في ذلك (1865) . وعندها وجه الى اكااديمية الطب أبحاثاً . وفي سنة 1867-1868 نوقشت هذه

البحوث ونالت الموافقة أخيراً ، أما دون التعرض للمذهب . واستتج فيلن (Villemin) في « دراسة حول السل » (1868) من تجاربه ، نفى نظرية وراثة السل الرثوي . وأكد على سلبية طبيعة ذات الجنب (البرسام) ، وعلى خطورة تعاطي الأولاد مع المصدورين من الكبار ، واستخلص أن سبب السل يظهر « كمادة منتشرة في الجسم بواسطة الوسط (أو البيئة) الداخلي الذي ينشرها حين نقلها » .

وهناك توجه يتحصل من أسلوب تروسو (Trousseau) (1801- 1867) الذي اشتهر سريعاً ، عندما كان أستاذاً عيادياً بعد 1852 ، ونال شهرة عالمية . وكان وضع وتحريم المسائل المعالجة قد ازدادت قيمته بفضل حس العرض والتقديم وبفضل بلاغة مدهشة . وقام تلاميذه المباشرون غالباً بإعادة نشر دروسه ، التي صدرت سنة 1861 .

قياس الحرارة العيادي . - منذ أن أدخل ل. نروب (L. Traube) (1818-1876) منحنيات الحرارة ، سنة 1850 تقريباً ، نجح تلميذه وبدرليش (Wunderlich) في إعطاء بعض الأمراض دورة ، أو فترات ، وأشكالاً عيادية ، مع صياغة بعض القواعد البسيطة في التشخيص .

كتب الأستاذ لوبري (Laubry) في كتابه « الحرارة في المرضى » (1868) أن وبدرليش « أنصف القليل على مجموعة المعطيات التي حصل عليها الشهيرون من سابقه ؛ ولكنه أثبت بها ببراعة ، وجمعها في ضمة قوية ، تستعصي على المعارضات النافهة » .

ومنذ ذلك الحين أصاب الميزان الطبي تحسين كثير . وتالت بكثرة الأعمال المرتكزة على استعماله بانتظام ، وفي سنة 1877 ، لخص كتاب لورين (Lorain) المنشور بعد وفاته ، المعطيات الحرارية بعد أن جمعها من نشرات متعددة .

العدوى النفاسية . - اتخذت أكاديمية الطب في باريس ، سنة 1851 ، موقفاً ضد الرأي القائل بالطبيعة العدوية لحمى النفاس . ولكن المشكلة لم تحل . وفي سنة 1855 ، وجه لورين بحوثه نحو العدوى المباشرة من الأم إلى الولد ، ومن الولد إلى الأم . وكان تارنيه (Tarnier) (1857) أكثر أصالة منه ، فزعم أن الحمى النفاسية موجودة وإنا وبائية ومعدية ؛ وانطلقت المناقشة الأكاديمية من جديد سنة 1858 ، ولكن بدون نتيجة . وتحرك الرأي العام عندما أدخل ج. لوكاس شامبوننيير Lucas Championnière ، أو التطهير ، أو التعقيم إلى دار التوليد في مستشفى كوشن (1874) فخفض الوفيات إلى 1% . في هذه الأثناء مات سملويس (Semmleweis) (1867) في ماؤي للمجانين دون أن يعرف أن أفكاره قد انتصرت . وكان أ. و. هولمس (O.W Holmes) أكثر حظاً فاستطاع أن يكتب : « لقد صرخت وانذرت أقوى ، ولدة أطول ، من أي شخص آخر غيري ، وأنا سعيد أن أعلم أي ارتكزت على الواقع المادي ، قبل أن يأتي الجيش الصغير من الميكروبات لمساعدتي في الدفاع عن موافقي » .

الجراحة . - قبل الوصول إلى المرحلة التي مجدها هولمس Holmes ، لم تكن الجراحة معطاة إلا بعد إسنادها إلى مفكرين عظام .

كتب ليسين (Lecène) : « بين 1850 و 1860 ، كان هناك عدد من الجراحين ، توصلوا إلى

إدخال الكثير من التحسينات على تشخيص بعض العمليات الجوفية . وكان منهم كوبرلي Koeberle وبيان (Péan) في فرنسا ، وسبنسر ولس Spencer Wells وباكر براون Baker Brown ولوسن تيت - Law-son Tait في انكلترا ؛ فقد كانوا يقومون بعملية تطهير بالصابون والماء المغلي ، دون أن يعرفوا .

وقد ابتعدوا عن الغرف التشريحية ، وعن الجروح المقترحة ، ولم يجروا عملياتهم إلا في عيادات خاصة . وكانوا جراحين شجعاناً ، فاستكملوا تقنياتهم ، واتخذوا الوسائل المضمونة ، مثل المص أو التصريف عند شاسينيك Chassaignac (1859) ، وابتكروا الأدوات مثل الملاقط الإرقائية (الموقفة للنزف) التي ابتكرها كوبرلي Koeberlé (1864) وبيان Péan (1868) اللذين لعبا دوراً ضخماً في تقدم الجراحة . وأجرى سبنسر ولس Spencer Wells عملية التهاب الصفاق السلي الحيني (تجمع سائل في البطن) عن طريق شق البطن ، واتخذ المريض . وكان كوبرلي أول من استخرج ورماً ليفياً ضخماً عن طريق الشق الطولي (1863) ، في حين نجح بيان Péan في استئصال الرحم عن طريق المهبل (1890) . وعمل لوس تيت Lawson Tait (1845-1899) ، من بيرمنغهام ، عن طريق شق البطن ، على استئصال التوابع ، فأحدث ، كما يقول ج. ل. فور J.L. Faure ، ثورة في تطيبب التفتحات التوابعية [المهبلية وغيرها . .] (إن تاريخ التهابات صفاق الكرش ، وبشكل أخص الأغشية البطنية يضم عدداً كبيراً من الأعمال ، من بينها أعمال برنوتز Bernutz وتلاميذه (1880-1884) « بناء مدعش من التشريح العيادي المرتكز على ركائز تطبيقية مزعجة جداً وخاضعة للمناقش » ، أ. دوبري (E. Dupré) وب. ريبير (B. Ribierre) في أمراض الصفاق ، 1909) ووضع إ. باكر براون I. Baker Brown ، أيضاً تقنيات جديدة . وفي أميركا استطاع ماريون سيمس Marion Sims شفاء الناسور الحوصلي المهبل (1849) ، وفي انكلترا اطلق بارنس (Barnes) (1860) على الوضع الفاسجيء في الحمل خارج الرحم اسم « هيماتوسيل كاتاكلسميك » Hematocele Cataclysmique = دم Cèle = خلية . واستبدل وليم فرغوسون William Fergusson القطع الكلي بتر العظم المفصلي كلما أمكن ذلك . وضبط جامس سيم James Syme ، بتر الرجل وكذلك فعل ن. ي. بيروغوف N.I. Progov في روسيا ؛ وحقق غوستاف سيمون Gustave Simon (من هيدلبرغ) استئصال الكلية ، (1869) .

التطهير [في الجراحة] - لقد أصاب الفشل الكثير الجراحين الذين لم يتخذوا نفس الاجراءات التي كان يتخذها المجددون . فالتطهير إذا نعمم فإنه يوسع عدد النجاحات الجراحية . والتطهير - كما يقول ج. لوكاس - شامبونير J. Lucas - Championnière ، « لم ينزل كالوحي فجأة في مجال الجراحة » . وبصورة أدق أيضاً ، إن المظهرات سبقت التطهير . في سنة 1855 استعمل ديماركي Demarquay الغليسرين ، لتضميد الجروح ولمعالجة تنن [عفونات] المستشفيات . ونصح أيضاً بيرمنغام البوتاسر ، كمطهر ممتاز حوالى سنة 1860 .

ولكن من المقبول عالياً أن أسلوب التطهير يعود في تاريخه الى يوم كتب عنه جوزف ليستر Joseph Lister (1827-1912) في مجلة لانست (The Lancet) (1867) . لقد طبق ليستر اكتشافات باستور عن جرثبات الهواء فقال « عل الجراح أن يرى الجرثبات في الهواء ، كما نرى نحن الطيور في السماء » . وعن طريق ذر الماء المشبع - بالفتيك في الهواء (سبراي) ، طهر جو غرفة العمليات ، لو

الحقل العملي وتضى على تعفن كل ما يمكن أن يلامس الجرح ، بالتغطيس في الماء المشبع بالفينيك أيضاً : كالدين ، والأدوات والأوتار المستعملة للتقريب - في الأعماق - بين الأنسجة الممزقة . أما السطوح الخارجية فكانت تلحم بخيوط من فضة . والتضميد كان يتألف من قميص من القماش الرقيق ، مشبع بالصمغ والبارافين .

إن التقدم الذي تحقق هكذا كان ضخماً . وبعد رحلة دراسية ، عند ليستر عاد تيرش Thiersch (من لينز) ولوكاس شامبيونير (من باريس) مندهشين . والمجموعة التطهيرية التي شكلها الزعيم الفرنسي الشاب كان عليها أن تناضل طويلاً لتجمل هذه المبادئ مقبولة .

أفكار باستور والتطهير - رداً على معارصين له ، في 30 نيسان سنة 1878 ، في أكاديمية الطب ، وضع باستور خطة مختصرة للتطهير الجراحي ، ورسم ، على لوح أسود ، المكورة العنقودية ، وهي العامل الخاص في العدوى النفاسية . وطبقت نصائحه من قبل جراحي رؤساء في مجالهم : تريون Terrillon وبعده بقليل تريبه Ternier .

التخدير والجراحة - وبذات الوقت بلغ التخدير العام الكمال ، ولاحظ بيدوكس Pidoux وقسطنطين بول (1876) (Constantin Paul) تفضيل الجراحين الفرنسيين الكلوروفورم في حين فضل الأمريكيون والآنكليز الأثير . فكتبوا :

« إن الحيلة الأولى الواجب اتخاذها ، وبوعي تام ، هي بالتأكد عدم تنشيق أبخرة المنومات الخالصة الصافية ، ثم السماح للأوكسجين الهواء أن يدخل بكمية كافية في الرئة بحيث لا تتوقف عملية تنقية الدم » .

ونجحت هذه الطريقة في عمليات البتر ، وفي الفتق المخنوق ، وفي البصع وفي التواء المفاصل والكسور ، كما وتسهلت عمليات التدخل في أمراض النساء . وقام ريس Reis في شيكاغو (1895) - وتبعه ورتهيم Wertheim ، من فينا ، وج. ل. فور ، من باريس (J.L. Faure) (1896) - باستئصال الرحم لسرطان في العنق عن طريق البطن ، بفضل « السطح المائل لترندلسورغ » (1891) ، وبفضل كمال التجهيزات التطهيرية . وأدخل هالستد Halsted ، من بالتيمور ، استعمال كمروف الكاونتشوك (1899) ونظم استئصال سرطان الثدي وفي فينا أجرى ولفلير Wölfler أول عملية فتح المعدة والمعي سنة 1884 ، ومنذ 1896 نجح في استئصال المعدة المصابة بالسرطان . وبدأت جراحة جانب الرئة سنة 1875 ، ثم تمت معلودتها من قبل اد. كينو Ed. Quénu ولونفت Longuet وتوفيه Tuffier وهاليون Halton (1896) ، ودواين Doyen ، وماسيون Macewen . وفي سنة 1896 نجح رهن Rehn من فرانكفورت في تلحيم جرح في القلب (مع بقاء المريض حياً) ، وهي عملية كانت تعتبر غير قابلة للجراة قبل عشرين سنة من قبل بيلروت في فينا ، الذي ترك عملاً مهماً في جراحة الأمعاء .

التخدير الموضعي - كان هناك ميل الى تجنب التخدير العام عندما تكون العملية قصيرة الأمد . ونشأ التخدير الموضعي ، الذي حل محل التخدير العام يومئذ ، بفضل اختراع ابتكره براغاف Praxav ، وهو طبيب من مدينة ليون (1791-1853) ويقوم هذا الاختراع على إبرة مجهزة لمعدة لتسريب مركلورود الحديد في الجيوب الأنفية [تنفخ في جدار الشريان] . وتكيف هذه الآلة لتصبح مضخة تم بفضل

شاربر Charrière (1852) ؛ وقد دُلَّ على بداية التطبيب تحت الجلد وشاع هذا التطبيب بفضل وود Wood من أدنبره (1853) ، وعرف في فرنسا بفضل بيه Béhier (1859) الذي أدخل الأترويين والمورفين لعلاج الآلام العصبية . وأحدثت هذه الطريقة المنافع وتسببت أيضاً ببعض المشاكل الموضوعية وتسببت أيضاً بالأدمان على المورفين ؛ ولكن النجاحات زادت على المساوئ نتيجة سرعة مفعولها . فدخلت الطريقة في المعالجة الجراحية بفضل هالستد Halsted (1884) ، ومع ب. روكلوس P. Reclus الذي وضع التقنية وكيفية الاستعمال والمحاذير والعوارض الطارئة والنتائج (1886) .

وفي سنة 1898 ادخلت معالجة العامود الفقري بالكوكايين ، التي ابتكرها بير Bier ، في تقنية التخدير

واستعمل توفية Tuffier سنة 1899 هذا الأسلوب الجديد في فرنسا ، بعد أن كان سلدويتز Seldowitz وزيدلر Zeidler قد حاولا تجربتها .

باستور Pasteur والطب - بعد أن أشرنا الى أعماله المهمة حول مرض الجعرة⁽¹⁾ ، نذكر أن باستور من سنة 1881 الى سنة 1886 عكف على حل مشكلة الكلب . وقام مع شميرلن Chamberland ، ورو Roux وتوليه Thullier بالتأكيد على أن فيروس الكلب ينتشر في أعصاب العضو المعصوص ثم ينتشر في كل الجهاز العصبي المركزي . وقد ابتكر التلقيح بجزء من الحبل الشوكي المكلوب ، وأجرى أول معالجة في 6 تموز سنة 1885 على الإنزاسي جوزيف ماستر J. Meister ، وفي أواخر 1885 كان قد عالج 350 حالة كلب اقترنت موفاً واحدة ، الأمر الذي تسبب له بهجوم عنيف قام به بيتر Peter أمام أكاديمية الطب ، وقد فشل هذا المحرم بفضل الدفاع القوي الذي قام به كل من برواردل Brouardel وشاركوت Charcot ، وفيليمين Villamin .

الميكروبات المولدة للأمراض - وللدلالة على الحراثيم المولدة للأمراض ، ابتكر الجراح العسكري سدياوت Sédillot سنة 1878 كلمة « ميكروب » التي سرعان ما أعتمدت ، في حين زاد عدد الميكروبات المسببة للأمراض المعروفة . وكان لكل ميكروب تاريخه الخاص ، الجذاب بفضل النشاط الدائب الذي قام به الكاشعون ، وبفصل النضال الذي فرض عليهم من أجل إنجاح وجهات نظرهم . وعمل روبر كوخ Robert Koch (1843-1910) على جعل اكتشافه مقبولاً ، سنة (1883) ؛ ويدور هذا الاكتشاف حول عصية السل . ولكن خصومه ظنوا لفترة أنهم ربحوا القضية عليه ، إذ لم يعثر على الميكروب في الاصابات الحادة بالسل الرئوي . كما أن كوخ (Koch) لم يفرض بسهولة عامل الكوليرا ، أو العصية العوجاء ، التي أثبت وجودها بحلال وباء وقع في مصر (1884) . وفي سنة (1883) بين تالامون Talamon عن طريق المحتر ، بالتجربة وفي العيادة أن المكورة الرئوية هي العامل المسبب في التهاب الرئة . واعترض عليه بأن العصية الرئوية التي اكتشفها فريدلاندر Friedlaender هي في الواقع سبب لالتهاب القصبة الرئوية . واستطاع يرسين Yersin ، في الهند الصينية ، التغلب على كل العقبات التي وضعت أمام مهمته ففحص قبح حيوية من جثة مريضة بالطاعون أخذت بدون

(1) راجع دراسة م. كوايري : باستور والميكروبيولوجيا في الفصل IV من الكتاب I .

إذن من السلطة ، وأثبت وجود عصابة الطاعون فيها (1894) . نذكر أيضاً أن عصابة الجذام خرجت من الظل سنة 1874 (هانسن Hansen) وفي سنة 1877 عُرفت أيضاً هزازة العفن المسببة للفرغرينا الغلزانية (باستور وجوبيرت Jubert) ؛ وفي سنة 1879 عرفت جرثومة السيلان (نيسر Neisser) ؛ وسنة 1880 عرفت : « ستافيلوكوك » الجرثومة العقودية والمكورة العقدية ، وسريتروكوك (باستور) ، وعصية التيفويد (ايبيرث Eberth) ، وعصية الرُعاص (استنقاء الأغشية) (بسوشار Bouchard وكايتان Capitan وشارين Charrin) ؛ وفي سنة 1882 عُرفت عَصِيبة الدفترية (الحنّاق (كلبس Klebs) ؛ وفي سنة 1885 ، عَصِيبة المعى الغليظ (اشريش Escherich) وفي سنة 1886 ، العَصِيبة التي تصيب السحايا (Weichselbaum وشلبوم) . وفي سنة 1887 تم اكتشاف « بروسيلا ميليتيس » الجرثومة التي تسبب حمى مالطة (بروس Bruce) ؛ وسنة 1888 ، عَصِيبة الاسهال (الديزنتاريا) (شانتيسم Chantemesse ويداى Widal) ؛ وفي سنة 1889 تم اكتشاف عَصِيبة الأكلة (الفرحة) اللبية (دوكري Ducrey) ؛ وفي سنة 1894 عُصِيبة المِطبات اللحومية (فان ارمنجم Van Ermengem) ، التعاون التبادلي بين عصيتين « فيزو سبيريلر » (Fuso-spirillaire) (هــ) فانسان (H. Vincent) وفي سنة 1896 تم اكتشاف جرثومات اشباه التيفويد (أشار Achard وبنسود Bensaude) ؛ وفي سنة 1899 تم اكتشاف المكورة المعوية (تيارسيلين Thiercelin) ، الخ .

الى لائحة الميكروبات المسببة للأمراض تُضاف لائحة « الفيروس » ، المسماة أيضاً « أولترافيروس » ، لأنها لا ترى بالمجهر ، وتسمى « الفيروس المتسربة » لأنها تعبر « فلتراً » المختبر وتحفظ بخصائصها المرضية . وتم اكتشاف فيروس الحمى القلاعية بفضل لوفلير Loeffler وفروش (Frosch 1898) ؛ وفيروس محيط الرئة من قبل رو Roux ونوكار Nocard 1898 ؛ وفيروس فيفاء التبخ من قبل بيجرينك Beijerinck سنة 1898 ، وفيروس التبغ (جذري الفم) ، من قبل بوردل Borrel ، وفيروس الحمى الصفراء من قبل ريد Reed وكارول Carroll 1902 . وبدت ، وكأنها ناعمة عن فيروس ، الأمراض التالية : الحصبة (الحمراء) التكاف (أبو كعب) القوباء ، الحصبة والجُدري والحمق (جذري الماء) والكساح الخ .

علم الطفيليات .- في سنة 1805 اكتشف فابريسيوس Fabricius حشرة تنقل الحمى الصفراء (Aedes fasciatus) أصبح اسمها «ستيفومايا فاسياتا» (Stegomyia Fasciata) (تبولد Théobald, 1901) فاشتبه بدورها اودوار (Audouard, 1821) ويوبرتوي Beauperthuy (1853) ، والطبيب الكوبي فنلاي Finlay (1881) . والنمى رينوسي (Renucci, 1834) ، الأخطاء الأكثر ثماداً حين أوضح وضع طفيلية الحُرب . وفي سنة 1835 وصف أوين Owen « التريشاسير اليس » (الدودة الملوية) (Trichina Spiralis) التي تنمو داخل العضلات (هربست Herbst, 1830) ؛ ووضع لوكاوت وفيرشو وزنكر دراسة حول مرض دودة الخنزير « التريشيتوز » . وكانت دودة « انكيلوستوما ديدينال » هي العامل المسبب لهنزال الأطفال الفاضحين (دوبيي 1843) . وأطلق بيلهارز (1852) اسم «ديستوموم هلمنتويوم » على نتج « الديدان العريضة » التي اعتبرت مسؤولة عن « البول الفموني » الذي تسببه التهابات في المثانة ، عليها ينمو السرطان (فيرشو, 1888) . وعرف فون سيبولد ، سنة 1853 ان أكياس يرقات الدودة الوحيدة سببها دودة « تينيا اشينوكوكوس » ، التي عرفت منذ غوز

(1782)؛ وفي سنة 1853 عزاب. ج. فان بندن البرص إلى طفيلية اسمها سيستيركوس سلولوزا. وفي سائل حليبي من دمل «الهيدروسيل» اكتشف ديماركي (1864) طفيلية أطلق عليها لويس Lewis (1872) اسم خيطية الدم البشري «فيلاريا سانغوينس هومانيس»؛ وعثر على خيطية بنكروفت (1876) في دمل في الذراع، وفي الورم اللعقوي في الصفن (جرب الخصىين) الخ. واكتشف أوبرماير الطفيلية المنتوية المسية للحصى الرجاجة (1873)، واكتشف ف. لوش (1875) أميب الديزنتاريا (انتاموبا هستوليتيكا). نذكر أيضاً اكتشاف طبيعة الملاريا وعملية انتقالها بفضل سلسلة من الأعمال ابتداءً من أول مراقبة للخلية الوحيدة في دم مريض بالملاريا من قبل لافيران Laveran (1880)، وصولاً إلى التعرف النهائي من قبل ج. ب. غراسي (1898) على انتقال عامل الملاريا بواسطة برغشة من نوع أنوفيليس (راجع هذا الشأن دراسة م. كوليري ولتري، الكتاب 1، الفصل 1) وهذا الاكتشاف كان له نتائج ذات أهمية بالغة في مكافحة الملاريا التي ساهم فيها العلماء الإيطاليون مساهمة غالية.

ومن بين الفطور الطفيلية، من المقيد أن نذكر أن النوع المسمى «البنسيلوم» قد عُرف بفضل لنك Link (1809). أما الفطر المسمى «فافوس» Favus البشر (ريماك Remak، 1837؛ وشوللاين، 1839) فقد أخذ على يد ليرت Lebert (1845) اسم (Achorion Schönleini) «اشوريون شونليني»؛ وعزا غروبي Gruby الفرع المصلي إلى «ميكروبورون أودوبي» (1843)؛ ومُحدث «اسبرجيلوس فوميفانتوس» (فريزينوس، 1863) لدى عالمي الحمام الاستسقاء الرثوي الذي اهتم به فيرشو، وليشهايم، وشانتييس، وفيدال، وتُعزى فطور مختلفة إلى النوع المسمى «اكتينوميس» (هارز Harz، 1877؛ آينغر، وفانسان، وكروز Kruse).

علم الأمراض العصبية، وعمل شاركوت. - في المكان والموضع اللذين كانت تسود فيها الفوضى في علم الطب العصبي قل محي. شاركوت (1825-1893) حاءت مجموعات منتظمة جداً، وكما يقول الأستاذ غيلان «في هذه الأطر كانت هناك لوحات مضبوطة»؛ وقلما وجد فصل من فصول «الباثولوجيا» أو علم الأمراض لم يكبر أو يتغير بفضل شاركوت. وتضمن عمله، في ما تضمن، أعمالاً حول الروماتيزم المزمنة والمتصاعدة (1853) والعرج المتقطع، وأمراض التزيف الدماغية (مع بوشارد، 1866)، وتعين الأماكن الدماغية والتيس القُرصي (مع فوليان، 1866)، والتيس الجانبي الضموري (1868)، وداء المفاصل السُّهامي [المقرون بالفراخ] (1868-1869) والنوبات الهستيرية، وكذلك الكسل، المفاصل عند النقرسيين (مع كورنيل، 1863)، ومرض الشيخوخة والشلل المؤلم عند المصابين بالسرطان، والسَّلْعَة [تضخم الغدة الدرقية] الجحوظية، وأمراض الكبد.

ويقع بالقرب من عمل شاركوت عمل الجراح ميرجامس باجت (1814-1899)، من لندن، الذي عزل، سنة 1876، التهاب العظام المتنامي، وسنة 1879، مرض الشدي المسمى مرض باجت.

بوتين وأمراض القلب. - ظهر بوتين (1825-1901) كطبيب قلب منذ أن قدم أطروحته (حول الضجيج الوعائي غير العادي الذي ينبع حالات النزف) التي حملته إلى دراسة الصغير القلبي، وإلى

اجراء البحوث حول الضغط الشرياني ابتداءً من سنة 1864 . وعمل حذر بوتين الشديد على تأجيل نشر دروسه حتى سنة 1894 ، ولم يظهر كتابه حول الضغط الشرياني إلا في سنة 1902 ، الأمر الذي مكّنه من الوصول ، رغم ضعف الجهد الذي ابتكره ، الى معلومات صحيحة حول ارتفاع الضغط الشرياني وانخفاضه . وبقيت آلة بوتين التي استعملها لاستخراج السائل الرئوي في الخدمة لمدة طويلة . واستعماله لمادة الديجيتالين كانت منطلق استعجاب قلبي فعال .

بوشار وأمراض التغذية .- في تاريخ أمراض التغذية فرضت أفكار بوشار (1837-1915) نفسها طيلة سنوات . ماذا يجب أن نظن في ضعف المناعة ؟ قال ب. ليجدر . سنة 1899 أن هذه الكلمة أصبحت مضرّة أكثر مما هي ناعمة . والواقع أن كلمة « ضعف المناعة » لم تكن واضحة أبداً . فمعداً بام بازين (1807-1878) ، عُرف نوعان من ضعف المناعة أو الوهن ، أو الإستهيا للمرضى رئيسيان : داء المفاصل أو الحُرص والإرتخاء العام . واعتبر نيز لانسر (البر والتثري هو الشرى أو القوىاء) حالة بين الحالين ؛ ولكن هالوب صنفه كذلك هو داء المفاصل والسَّلعة [شكل من أشكال سل الطفولة يعرف بحصول انتفاخات عقدية] (ضمن حالات الإرتخاء العام) أما هانوت (1844-1896) فلم ير في أمراض المفاصل إلا « حالة تكوينية (تتميز بتعطيل ، يكون عادةً ولادياً وموروثاً) ، في تغذية الأنسجة اللحمية ومشتقاتها بحيث تصبح أنسجة ضعيفة المقاومة

ولم يعترف بوشار إلا بحالتين من حالات ضعف المقاومة أو المناعة هما السَّلعة وارتخاء المفاصل ؛ وتمثل الأولى بظهور الإرتخا والحصف [مرض حُلدي معدٍ] والحبوب الحُلدية ، والتهاب الجفون والزكام المزمن وسيلان الأذن وتشوهات العظام وكبر اللوزتين والتهاب الضدد وتضخم حجم المساريقية . ويشمل ارتخاء المفاصل أو الوهن المفصلي الأمراض الناتجة عن بطء التغذية التي صنفها بوشار ضمن ثلاث مجموعات : 1 - الإضطرابات الحمضية (الأسيدية) (مثل ارتفاع درجة الحموضة ، الكساح ، بُن العظام الحُملي أو غير الحُملي) ، 2 - الإضطرابات المولدة للشحم (الزُّهم أو زيادة أفراد الغدد الدهنية ، والبذانة) ؛ 3 - الأمراض الترسبية (الرُّمَال أو ترسب في المثانة أو في المرارة ، داء الحصاة أو داء النقرس ، والروماتيزم المزمن ، والسكري) .

هذا الصنف الأخير من الأمراض كان موضوع العديد من الدراسات فتكون الحصاة في المرارة سببه ترسب الكولستارين (بريستو ، 1887 ؛ ونونين 1892) . أما النقرس فسيبّه رأي غارود ترسب حامض البول (أسيد أوريك) في المفاصل وفي الأحشاء ، ولكن غينو دي موسي يرفض مثل هذا التضييق لطبيعة النقرس (1874) .

إن تاريخ الروماتيزم المزمن والمتفامعة طويل للغاية . فقد بينَ هايغارت ، من سنة 1805 حتى سنة 1815 ، أن التواءات أو العقد ليست تخثرات أو ترسبات متراكمة ، ولكنها جزء مكمّل للعظام . أما مرض السكري الذي كان يعرف في الماضي من خلال الطعم المُسَلّي للبول فقد عرف ، منذ 1848 بفعل التفاعل الذي توصل اليه الكيميائي الألماني هرمان فون فلهنسلغ (1812- 1885) وهذا التفاعل مشتق من طريقة ترومر Trommer (1841) ، وأخيراً هناك السكري الجارح والذي عرف في القرن

السابع عشر، ويتميز بحسب رأي فالك (Falk) (1853) بترسب الأزوت وترسب الهيدروجين مع البولة والاستسقاء، وقد درس بشكل خاص من قبل ليكوشي (Lécorché) (1877).

2 - أربعة مكتسبات مهمة

الزائدة الدودية .. من مجمل المكتسبات التي تتدرج ابتداء من سنة 1880 لتستمر حتى نهاية القرن نذكر، بالترتيب تبعاً للأهمية، المكتسبات التي قلبت الرأي العالمي رأساً على عقب. لقد عرف مرض الزائدة الدودية حوالي سنة 1880. وابتكر له الجراح الأميركي ماكيبورني اسمه (النشرة الطيبة النيويوركية 21 كانون الأول 1889) وفي سنة 1892، عرض ش. تالامون مختلف أشكال الزائدة في التشريح العبادي.

الفحص عن طريق الزرع .. سبق الزرع أو التشخيص المصلي لبعض الظاهرات. فقد لاحظ شارين وروجر (Charrin, Roger) (1892) تجمع الميكروبات، وذلك أثناء درس زراعة عصيات قبحية ناتجة عن تجعد الدم. ولاحظ ر. بغير (R. Pfeiffer) أن مصل حيوان التجربة الملقح ضد الكوليرا يُحوّل ويُبَخِّصُ عصية الكوليرا (1894)؛ وحصل على نتيجة مماثلة من حيوانات ملقحة ضد عصية ابيرت، ورأى هذه الظاهرة عملية اكتساب مناعة؛ وقد قاسمه دورهام (Durham) وخاصة غروبر (Gruber) هذا الرأي. وعندها تساءل فرنان فيدال (1862-1929) «هل اكتسب مصل ممرض التيفوئيد خصائصاً تحميرية»، وقام ببحوث، وفي 26 حزيران 1896 أعلن عن اكتشاف التشخيص المصلي، لأن ردة الفعل المطلوبة قد تحققت منذ اليوم الثامن من الحمى التيفوئيدية. وحصلت نفس النتيجة في الحميات الشبيهة بالتيفوئيد (أشار وينود)؛ وأصبح التشخيص المصلي يستعمل بعد ذلك للفرق بين حمى التيفوئيد وأشباهها، وكذلك لتأصيل التشخيص في الأمراض التي تخفي التيفوئيد مثل الكرب، والتهاب السحايا والتهاب النخاع الشوكي، والسل الحاد. وتنسحب هذه الطريقة أيضاً على الكوليرا وعلى الحمى المالطية (مرض متولد عن عصية بروس) وعلى الطاعون والحمى الصفراء، وداء البقلاء [اغذيان] والديزانتيريا العضوية.

البزل القطني .. دخل سحب السائل النخاعي [الموجود بين السحايا] في الاستعمال سنة 1891 بفضل هنريش كونكي. ومظاهر هذا السائل المختلفة، والمأخوذ عن طريق البزل القطني وكذلك خصائصه الفيزيائية والكيميائية قد درست في الحالة العادية وفي الحالة المرضية. واستخدمت العناصر الخلوية، بواسطة الميكروسكوب، من أجل تأسيس ما سمي بالتشخيص الخلوي، لأن متعدّدات النوى [نواة النواة] تتمتع بدرجة من الحدة في عملية تهيج السحايا باعتبار أن كثرة الخلايا الخلوية تساعد على تفاعلية خفيفة.

الفحص الراديولوجي .. بعد اكتشاف أشعة رونتجن (1895) أصبحت القدرة الميوقرافية على الاستكشاف أكبر. وأخذت الصور الشعاعية التي بدت في البداية ضخمة تيسر سنة فسنية. ومنذ 1896 انصرف أنطوان بيكلير (A. Becquerel) وتلاميذه إلى هذه البحوث بحماسة. وفي نفس السنة طبق لانيونج وأشار أشعة اكس من أجل تشخيص الأمراض العظمية والكسور والإلتواءات، والسل العظمي والأجسام الغريبة. وقدم أودين وبارتيليمي صوراً راديوغرافية للبدن وللقفص الصدري، وقدم بوشار

أول ظواهر التجديفات السلية ، الأمر الذي حُسّ وليامس في أميركا وهولز كنيث في النمسا ، وماراغلياني في إيطاليا . ومن بين التجديدات المتعددة ظهرت أعمال كانون في أميركا (1901) ، وأعمال ج. ش. رو وبالتزار في فرنسا ، اللذين حاولا تطبيق الراديولوجيا على أمراض الجهاز الهضمي ، واستخدما تلوين البيشموت لتكثيف الظل ولتتبع جوانب المعدة ومظاهر باب المعدة العليا ومخرجها .

3 - انتشار العلوم الطبية

التشريح . - قام دينونفيلي Denonvilliers بوصف صفاق الحوض الأصفر [الصفاق غشاء عضلي] ؛ وتابع سابو بحوثه حول الأوعية للمفاوية . ونذكر اللوحات الرائعة التي قدمها غارايون (1841-1910) ، ثم « تشريح الرأس والرقبة » الذي قدمه سييلو (1860-1953) . وقام بواريه Poirier من باريس وشاربي من تولوز بإدارة نشر أبحاث ضخمة ، وأصلية في أكثر الأحيان حول « التشريح الوصفي » ؛ وظلت معالجة نسوت من ليون ، لمدة طويلة ، كلاسيكية . وكان للتشريح التوبوغرافي ممثلون ممتازون منهم : آ. ريشت ، وب. نيلو في فرنسا ؛ وهينل ولودويغ ، وريماك ، وجرلاش ، وزنكر ، وجيجنبور هيزسنسبور ، ومركل في ألمانيا ؛ وولر في انكلترا ؛ وهرتل وزوكركندل في النمسا الخ .

علم الأنسجة . - تولى تعليم علم الأنسجة العام في فرنسا بشكل خاص كل من رانفيه Ranvier ، وماتياس دوفال ، وبرينان . وأجرى لاغس بحوثاً مهمة حول الرتين وحول البكرياس . ويعتبر العلماء الإيطاليون في الأنسجة ومن بينهم باسيفي ، في جسيمات اللمس ، وكورني في عضو السمع ، وغوبلي الذي اكتشف إمكانية تلوين النسيج العصبي بترات الفضة ، هم من بين الأكثر شهرة ؛ وفي اسبانيا بين رامون إي كاخال (1852-1934) في سنة 1888 ان الخلايا العصبية تتراسل بالجوار والتلاصق .

علم وظائف الأعضاء أو الفيزيولوجيا . - تميز هوتشنون في انكلترا بدراسة المطاطية الرئوية (1849) ؛ وكان الألماني كارل لودويغ (1816-1895) قد أخذ سنة 1856 أول مخطط للضغط الشرياني (راجع أيضاً دراسة ج. كانغليهم وم. كوليري الكتاب I ، الفصل VI) ، ودرس بارتيلو، وكونكويوكمر وبوركيلوت ، من سنة 1860 حتى سنة 1900 الحمائر ، وفي سنة 1866 قام بيتكوفروش . فوات في ألمانيا بدراسة عملية الأيض عند الإنسان في حالة الصيام والأكل . وقام إيلي دي سيون بدراسة تسارع القلب عند تهيج العصب الودي الكبير . وكان النفس في المرتفعات العالية موضوع بحث من قبل جوردانت (1861) ، ومن قبل بول برت (1878) ، ومن قبل موسو (من 1880 حتى 1900) ؛ وقام فيك بحساب الدفق القلبي (1870) ؛ وفي سنة 1874 عرف هيدنه بنظريات الإفراز الكلوي ، وعرف جيرهارت بقوام الدم الشرياني والدم الوريدي من البولة . ومن سنة 1885 الى سنة 1895 ظهرت أعمال شوفو حول تعادل المأكولات في الطاقة الغذائية (إيزودينامي Isodynamie) الأولية . وقدم شارل ريشيه ورويتز أعمالها حول قانون السطوح . وفي سنة 1850 درس وولر الانحلال الخلوي الوريدي (نسبة الى

دولر (العصبي) . وفي سنة 1893 وصف هيز الأصغر الصغيرة العصبية - العضلية في القلب .

علم الأمراض الداخلية . - إن أي تاريخ مثل تاريخ الطب يجب أن لا يتم ، كإتمامه - كما قال مارك بلوك - « بمشهد البحث وما فيه من نجاح ومن فشل » . إن أي مرض إلا ويمر بمراحل متتالية ، إلا ويحصد لإستقصاءات يقوم بها أشخاص ، يعطي المستقبل حكمه في قيمتهم .

من ذلك أن اندر وود قام في سنة 1774 بدراسة مختصرة لشلل الأطفال ؛ وأشار هين في ستوتغارت الى صفته الوبائية (1840) ؛ في حين سماه ريه وبارتيمز (1843) الشلل الأساسي في الطفولة . ودخل هذا المرض في إطار التشريح المرضي (الباتولوجي) مع بريفوت (1845) ، وشاركوت ، وروجر وداماشينو (1881) ، في حين قام دوشين من بولونيه (Boulogne) الأب والابن (1855-1860-1864) بوضع سماته المميزة . وأخيراً أطلق عليه اسم الشلل (بوليوميليت) السابق الحاد في الطفولة ، « مرض هين - ميدس » وقد ركز هذا المؤلف الأخير أي ميدس بشدة على الصفة الوبائية لمرض الشلل ، بعد هين بـ 45 سنة . وتم الاعلان عن قانون شويارت - ستوكس : « كل عضلة متصلة من تحت بمصل أو بغشاء غاطي ملتهب تنشل » (وكان هذا القانون قد استشفه شويارت) . من قبل ستوكس في دولين (1804-1878) سنة 1854 ؛ واقتصر اسم هذا الأخير أيضاً باسم معلمه شاين في اكتشاف دوري شاين - ستوكس (فقد التنفس - اللهاث - فقد التنفس) وهو دوري وصفه شاين سنة 1816 ، وسحبه من النسيان تلميذه سنة 1846 ؛ كما اقترن اسم ستوكس باسم آدمس (النبض البطيء المستمر ، 1827-1846) . من هذه الأمثال التي تدخل في تاريخ الأمراض نضع حدوداً سريعاً بالكتابات الطبية المتتالية جهازاً بعد جهاز .

الجهاز الدموي . - في سنة 1862 جمع دوروزيز مختلف العناصر المسماة لضيق نوبج القلب الخالص ؛ ومنذ سنة 1863 سجّل مسجل نبضات القلب الذي وضعه ماري Marey ، النبض الطبيعي والنبض المرضي ؛ ودوّن المسجل ذاته ضجيج القلب . وفي سنة 1865 أثبت ترورب ، في ألمانيا ، العلاقة بين الأمراض الكلوية والأمراض القلبية ، وبدون جهاز مسجل ، اكتشف ارتفاع الضغط الشرياني في التشنج الفاسي أو مرض القرينة [وهو مرض تقلصي في القلب يحصل للأطفال والنساء والحوامل] والتهاب الكلى الحولي وفي التسمم بالرصا ص . في سنة 1871 شهر بتر بالأمراض الحُمليّة القلبية الناتجة عن الضيق التاجي . وميّر وليم أوسلر في سنة 1885 من بين أمراض الشفاف القلبية ، الصنات الأساسية لمرض الشفاف الحبيث البطيء . وقدم بوفريه وصف سرعة خفقان القلب الذرية سنة 1890 . وفي سنة 1893 ربط بارد في أمراض القلب ، بين نشأة استرخاء القلب وبين التواتر الإنتهاية . ودرس برودبنت وإيوارت الالتصاق أو التلاحم في الغشاء القلبي (1895) . وفي سنة 1896 قدم ر . ماري دراسة رائعة تشريحية باتولوجية لإنسداد « الميوكاردا » (نسيج القلب العضلي) وقدم بيك ، في ألمانيا وصفاً لإلتهاب الشفاف التقضي .

وكان أول « مقياس ساعدي » (جهاز لأخذ الضغط من الذراع) من صنع وابتكار ريفا - روسي ، في باي (1890) . واستعاد مفهوم مرض الشرايين الحاد القوة والاهتمام بفضل ملاحظات باتري (1863) ، وبوتين (1878) أثناء الحمى التيفوئيدية . وأثارت التهابات الشرايين الفلسفية والسبيلة

العديد من الأعمال وكذلك التهابات الشرايين الحادة والمزمنة . وفي سنة 1872 عرف غول وسوتون مرض تصلب الشرايين ، وفي فرنسا قام لانسيرو بتقديم أفكار مماثلة . وقام ولس (1875) باكتشاف المنشأ السفلي للتلفخ الوعائي الوتني .

علم أمراض الدم . - قام فيرشو سنة 1845 بتصنيف الكريضات [كريات بيضاء] فميز بين الكريضات الصغيرة ، ذات النواة المستديرة ، والأخريات ، الأكبر حجماً ، ذات النواة الملتوية ، ذات المنشأ الطحالي ، وأغنى علم الأمراض بمرضين : اللوكوميا [ايضاض الدم] اللمفاوية أو العقدية واللوكيميا الطحالية أو النخاعية المشا . واقترح بينيت (Bennet) (من أدنبره) الذي قام بنفس الاكتشاف ، بذات الوقت التحديد الكريصي . وأوضحت بحوث أديسون Addison (1849) ، وبيرمر Biermer فقر الدم الخبيث (الأنيميا) (1868-1875) . ان السمات المرضية الدموية في مرض الكلوروز [فقر الدم بالكريات الحمراء] قد جمعها هايم Hayem وكان لكتابه « بحث في الدم واصاباته النشرجية » (1879) تأثير كبير . ان كثرة الكريات الحمراء في الدم المقرونة بنقص الأوكسيجين فيه ، وتضخم الطحال ، والأوجاع المفصلية تشكل مرض فاكز (Vaquez) (1892) . ان التوازن الكريصي يختل في الحالة المرضية (ليريدي Leredde وم. لوير Loeper ، 1895) ؛ عكف دوميني Dominici (1900) على تتبع التفاعلات للكريضات خلال الأمراض الحادة وبعد عملية القصد . ووجدت وحيدات النواة مرضية في حالة السل الحاد ، والسل الحبيبي ، والجذري . وبقي نقل الدم ، المشجوب من قبل دوماس (Dumas) وبريفوست Prévost ، في سنة 1821 في الظل حتى قيام تجارب لاندوا Landois ، في ألمانيا (1867) وأوري (Oré) في فرنسا (1868) متبوعين من هايم Hayem وجوليان Jullien (1875) وروسل (Roussel) (1876) وأحيراً من م رينود M.Raynaud الذي جرب نقل الدم مستعملاً دمه بالذات (1870) .

علم أمراض الرئة . - ساهم بارت (Barth) في اكتشاف عمدة الشُعَب (1856) وأ. والنز (E. Woillez) في توضيح الاحتقانات الرئوية (من سنة 1854 حتى 1872) ؛ وعزل غرانثر سنة 1883 (Grancher) المرض الطحالي الرئوي ؛ وتوسع العلم في أسباب أمراض الاستسقاء الحاد في الرئة : حادث بزل الصدر (بينولت Penault ، 1853) تعقيدات الكلية المزمنة (فرانتزل Fraentzel) ، 1889 ، (الح) ؛ التيس الرئوي درسه شاركوت (Charcot) (1878) . وقال فيرشو (Vrichow) ، ونومير (Neumeyer) ، ورينهارد (Reinhardt) (1850) ان التهاب الرئة الجبني هو غير السل ، ولكن فيلمين (Villemin) وشاركوت ، الخ كان لهم رأي معاكس . وظل السل التسارعي مجهولاً حتى جاء وولر (Waller) ، في براغ ، دون الاهتداء ، مع ذلك ، الى سببه ، ثم أبرز فورنت (Fournet) (1839) « سيطرة الظواهر العامة على الدلائل الموضوعية » ؛ وقام لودت Leudet وخاصة اميس Empis (1865) بتعريف السل الرئوي الحاد . كتب دريفوس - بريزاك وبروهل (Brühl) و (Dreyfus-Brisac) : « نحن مدنيون للمفاهيم الأكثر تضليلاً في منشأ الأمراض بأنها أعطتنا المعطيات العيادية الأكثر صحة » . لقد كانت غالبية أمراض ذات الخبث [لتهاب الغشاء الرئوي الجانبي] تعزى لمنشأ سلي ، خاصة من قبل لانك (Laennec) ولويس Louis والعديد من المؤلفين السابقين . واقترح بارد (Bard) (1898) تصنيفاً للأشكال العيادية للسل الرئوي ، ولم يتقدم هذا الاقتراح بتأييد التصوير الكهربائي

(راديولوجيا) ، إلا أنه شكّل أساساً رائعاً للعمل . ومن أكثر المسائل بحثاً كان موضوع انتقال السل بالوراثة وبالعُدوى . وكان الانتقال الوراثي ينال تأكيد بومغارتن (Baumgarten) (1883 حتى 1892) ، ولكنه تراجع أمام قوة البراهين المحاكمة والمقدمة من أنصار النظرية الثانية ، وخاصة من قبل موسغراف - كلي (Musgrave-Clay) (1879) ، الذي وضح الظروف التي تصبح فيها العدوى ممكنة ، ومن قبل فلوغ (Flügge) (1897) ، وقد أثبتا حين بين أن الذرات التي يقذفها السعال محملة بالعصيات . وقام كلش (Kelsch) وهوتين (Hutin) وكوس (Kuss) (1898) ، في فرنسا ، وبومغارتن (Baumgarten) ، في ألمانيا بإصدار رأي مفاده أن السل ، في بدايته ، ليس إلا من تعقيدات السل الكامن والقديم .

علم الأعصاب . - حدد ب. بروكا (P. Broca) (1861) مركز قوة النطق والإنصاح في أسفل التدوير الجبهي الأيسر الثالث . ولكن يقينه هذا قد رجعته ملاحظات تروسو Trousseau وشاركوت Charcot (1863) ، اللذين وجدا ، بعد تشريح لعمى [عاجز عن النطق] ، أن المنطقة المشار إليها سليمة . وهكذا لم يحتفظ الجيب الجبهي بالأولوية التي كانت معطاة له ، ولكن نظرية الأماكن الدماغية ، التي أسسها ، سنة 1875 ، شاركو Charcot ، وحاربا فولبيان Vulpian وفلورنس (Flourens) بقيت : أن المنطقة المحركة تقع في التلفيف الجبهي الصاعد وفي القسم الجانبي الصاعد

وأضاف عالم الأعصاب هيرلنفس جاكسون (Hughlings Jackson) (1867) عدداً من المعلومات الاسبابية ، والعابدية ، ومعلومات حول نشأة الأمراض ، وحول الصرع الجزئي . ووضع ج. سي (G. Séé) (1850) تعديداً للعلاقة بين الاختلاج العام والروماتيزم المفصلي الحاد ، في حين كان التزيف السحائي موضوع العديد من الدراسات . وحدد مركز الفالج الشقي في البصيلة التنوية من المخ ، عندما يضاف إلى الشلل الوجهي الشقي ، شلل الأطراف في الشق المقابل (ميلارد - غوبلر (Millard-Gubler) ؛ وهو (أي الفالج الشقي) ذو مركز عتقودي ، عندما يكون هناك ، مثلاً ، شلل نصفي ، يميني مع ارتخاء في الجانب الأيسر (غوبلر Gubler ، ويبر Weber) . وقد أعيد الانحراف المتزاوج بين الرأس والعينين إلى أسبابه من قبل بريغوست وشاركوت ، وخاصة من قبل لاندوزي وغراسيه (1879) وجمع بران - سيكارد ، من 1849 وحتى 1863 أربعاً وعشرين ملاحظة حول القطع النصفي المخي ، التميز بكساح النصف الأسفل المقرون بخدر متصالب .

وغاص بو Beau سنة 1849 في مجال التهابات الأعصاب . وبين سنة 1850 و1855 درس آران Aran ، وكروفيليه ودوشين من بولونية الضُمور العضلي المتصاعد . وقبل أن يكتشف رومبرغ سنة 1851 فقد التوازن عند اغلاق العينين وجمع الكمين لم يكن للاختلاج الحركي أو للهلزال من تاريخ عيادي . وأشار دوشين البولوني إلى فقد مواضع الأطراف ، وإلى عدم التماسك الحركي وإلى القوة المحفوظة . وأشار أرجيل ووبرتسون ، وهو اختصاصي في العينين في أذنيه إلى فقد التحسس بالضوء مع الاحتفاظ بالقدرة على التكيف والتركيز . وفي سنة 1868-1869 ، أضاف شاركوت إلى هذه العناصر الرئيسية الأمراض المفصلية الهزالية . وفي سنة 1877 سهّل وسغزال تشخيص الهزال بالغاء

الانعكاس الرضفوي المفصلي . وقبل سنة من ذلك تعرف آ. فورنيه على المنشأ السفلي للمرض .
 وخرج داء تب العسل من بحوث إرب Erb سنة 1878 ، ومن بحوث غولدفلام Goldflam (1891) ، وجولي (1891-1895) . ولاحظ شاركوت وجوفروا ، منذ 1869 وجود فصل في الاحساس ،
 لدى بعض المرضى ، وهذه اشارة اساسية الى وجود تكهف في النخاع الشوكي ، وهو أمر دخل في
 المرحلة العيادية بفصل كهلر Kahler (1882-1888) ، وشولتز (1882) . وحول التكهف في النخاع
 الشوكي كان العمل الأكثر أهمية هو عمل ج. ليبين (1900) .

واهتمدى لاسيغ Lasègue بالهامه لكي يعرف على الم النساء : [عرق النساء (المترجم)] :
 فالمعصب الذي يمر فوق عظم المقعدة يتمدد عندما يرفع الفخذ الممد ، كما لو كان وتر كمان فوق
 المسندة . وكانت الاشارة التي قدمها الطبيب الروسي كرينغ والتي تشبه الانعكاس ، بمثابة ضوء إنارة
 لتشخيص التهاب سحايا الحذبة الدماغية (1882) ، وعرفت قيمتها وانتشرت بفضل نتر Netter
 (1898) . وأضاف بابنسكي الى علم الاعراض العصبية هذا ، الاشارة المهمة التي اقترن اسمه بها
 دائماً : توسع الاليام في الرجل عند تحفيز أخمص القدم ، في كل مرة تكون فيها الصغيرة الهرمية ، عند
 التقاء الدماغ بالنخاع الشوكي ، مضطربة (1896) . وفي سنة 1901 بين بابنسكي أن الظاهرات
 المستتيرة يمكن استحداثها بالتلفين ، وأصبحت بعد ذلك تتميز بشكل مطلق عن الظاهرات
 العصبية .

وظهرت الجراحة العصبية سنة 1887 . كتب أوسلر ان «هورسلر استأصل بنجاح ثُملاً كان
 يضغط على الحبل الشوكي ، وربما كانت عملياته هي أشهر عملية في تاريخ الجراحة » وهذا طيلة ثلاثين
 سنة .

الأمراض العقلية .- كان وصف هذيان الاضطهاد ، سنة 1854 ، من صنع لاسيغ الباهر . وفي
 ذات السنة تمّ ، تحت إسمي الجنون المزودج الشكل ، والجنون الدائري ، عزل تعاقب الهياج أو
 الحماس والانتقاض أو الكابة . وفي 1857 ، نشر مورل كتابه « معالجة الانحلال الحولي » ، وأكد
 السويديان اسمارش وجيسن على النشأة الفلسفية للشلل العام ، وتأييدت هذه النظرية التي استقبلت
 بالثقل ، من قبل إرب (1887) ، ومن قبل ريجيس (1888) ، ومن قبل آ. فورنيه (1894) . وغزّلت
 ف. ماغنان الهذيان المزمن المتطور بشكل منهجي (1883) . تذكر أيضاً الهذيان المقرون بالتهاب
 الأعصاب المرتبط بالادمان على الخمر (كورساكوف ، 1887) ، وتذكر أعمال سيفلاس حول
 الاضطرابات في النطق عند المعتوهين .

أمراض التغذية .- لقد أثار مرض السكري العسلي عدداً كبيراً من البحوث . ونذكر من بين
 أسبابه الأسباب المعنوية ، والأمراض العامة وفي أغلب الأحيان العصبية منها ، وكذلك
 الصدمة . ورغم معارضة الطبيب الانكليزي بائي فرضت فكرة تحلون الدم التي قال بها كلود برنار ،
 نفسها : « ان المبالغة في أهمية البولة السكرية هي التي تسبب البول السكري » (ليكورشي ، 1877) .
 ومن بين الاشتراكات والتعقيدات هناك الغيبوبة السكرية أو الأستونية التي بفضل كوسمول (1874)
 ردت الى سببها ، في حين أن سابقه لم يروا فيها إلا تعقيداً مشتركاً ومعتزساً . ونذكر أيضاً

« الغنغرينة » أو نخر العظام السكري ، في الأطراف (مارشال) ، ونذكر أيضاً التعقيدات التنفسية (دريشغلند) والسيل الرئوي ، والعوارض القلبية الوعائية (ليكورش) ، والعوارض الكلوية (غرينسجر ، أرماني ، اهرليش ، وشتروس) . أما مرض السكري الحاد فقد درسه بشكل خاص فوبك (1853) وليكورش (1877) .

وأثارت الروماتيزم المزمنة حماس الباحثين : دثيل (1848) Deville وبروكا (1850) (Broca) ، وشاركوت (Charcot) (1853) ، وتراستور (1853) وأ. فيدال (1855) . وعالج شاركوت مرضاً قلماً فُرس حتى ذلك الحين ، ثم تعمق في بحثه في مستشفى سالتيرير ، حيث كان هذا المرض منتشراً بين المسنين من الفقراء - وكان أدامس ، في لندن ، قد سماه منذ 1839 ، نقرس العوز . وألقي الضوء على دور البرد والعديد من العوامل الأخرى . وأبرز بشتيريف (1897) سمات تصلب الفقرات المقرون بالأحديداب . وقام ب. ماري وأ. ليري (1899) بوصف تصلب الفقرات الجذوري بدون أحديداب . وييس غارود تراكم الحمض البولي في الدم بصورة دائمة عند التقرسين . ووضعت دراسات متخصصة خصيصاً للتقرس من قبل ديس دوكرث ، وريشارديير ، وليكورش ، ورائدو ، وابستين ، الخ .

الجهاز الهضمي - يقول شومل ، « ان عسر الهضم هو مرض كل الأيام ، وهو يستعصي على الرقابة التشريعية ، ويصعب تصنيفه » (1857) ، وأوشك أن يذكر عسر الهضم بسبب الشراهة ، والغازات ، والقلويات ، والمغص الغازي ، وبسبب كثرة السوائل .

يقول ف. صوتينيه : « نرى تياراً مزدوجاً يظهر من خلال الضرورات التقنية : فمن جهة تقوم أدوات قياس ، ومن جهة أخرى تتوضح طرق التنظير الباطني التي تتطلب أجهزة أكثر فائتراً كمالاً » .

وجرب كوسمول وضع ناظور بلعومي وناظور معدوي تبين أنها خطران . ومع المضخة المعدوية (1868) بدأت الدراسة الكيميائية لعملية الهضم (لوب Leube) ، وذلك بفضل ج. هايم وحده أو مع وتر (1893-1896) ، وبفضل بوفريه Bouveret ، في ليون (نفس الحقبة) .

واختلف تصنيف عسر الهضم بين مؤلف وآخر . واثم بوشار الكسل المعدوي ، وعدم كفاية الإفراز الكلوري بالتسبب بعسر الهضم (1884-1885) . وحول تمدد المعدة ظهرت أعمال ج. سيه (G. Sée) وماتيو (1884) ، وب. ليجندر (1887) .

وتحديد مكان سرطان المعدة قد درس من قبل برنتون (1857) وليبرت (1859) . وأثناء دراسة هذه السرطانات ، كان فقر الدم هو الركيزة ، ولكنه ، عندما كان يسيطر على المسرح العيادي ، كان يتخذ اسم الشكل الفقري الدموي لسرطان المعدة (هايم 1879) . وجمعت دلائل قرحة المعى الاثني عشري من قبل بوكوا (1887) . وثبتت هوسمان من تكاثر سرطان المعى فوق الالتواء (S) الحرقفي (1882) ، وكان الانسداد موضوع عدد كبير من الأعمال ، منذ لابريك (1852) ، وتخصص مايور ، في جنيف ، في بحوث حول انسدادات القولون (1893) .

الكبد - كان أول كتاب مخصص في فرنسا ، لأمراض الكبد ، هو ترجمة ج. سير (1878)

للدروس ش. مورثيسون (1868)، تلميذ غرافس ، الذي كان شاركوت قد نشر أنكاره سنة 1876 وكان تضخم الكبد (مع الدماغل ، والخراجات الانسوائية) ، وأنواع اليرقان ، وخاصة الحمى العائلة المقرونة باليرقان ، والاضطرابات الوظيفية الكبدية مواضيع أفضلية بالنسبة الى مورثيسون .

قال راندو Rendu : « إن اليرقان الخطير ، « الصفراء المميتة » عند سود Budd (1845) وهي نتيجة توقف الوظيفة الكبدية المفاجيء ، أدى الى قيام فريبريش (Frenchs) بالثبوت من الضمور الأصفر والحاد للكبد ، الذي هو الثاني في قوته بالنسبة الى كل الأمراض الكبدية » .

ونشر هانوت ، سنة 1876 ، دراسته حول شكل من أشكال التليف التضخمي للكبد مع يرقان مزمن ومع تضخم في الطحال : في أعماله ، كما في أعمال زادوك - كاهن ، وشوفار ، ظهرت محاولات تجديد أثناء التشمعات التضخمية .

واعتبر هانوت بأن السرطان الثانوي في الكبد هو أكثر وقوعاً من السرطان الأولي (1888) . وتم نبأاً التعرف على سرطانات المرارة (برتران 1870) ، وعمل الإصابة الأولى للكبد (جيلبرت 1886) ، وسرطان القناة الصفراوية (ديكرمان 1889) وأنبولة Vater (بوسون 1890) . واعتبرت الحمى المعاودة الكبدية التي قال بها مويرت ، وشاركوت (1877) والمسماة الحمى الكبدية الوبائية عند شوفار ، مؤشراً على التهاب أوعية المرارة الحادة .

إن وصف الرمل في المرارة بدأ مع فوكونو - دوفرين (1851) ، واستمر مع تروسو وشاركوت . إن نظرية العدوى الوبائية في الرمال ، ترتكز على تحقيقات غاليب (1866) ، ونونين (1891) ، ألخ . وسوء حالة الكبد ملحوظ في كل الأمراض المعدية : كوليرا ، حمى التيفويد ، وتسمم الدم النفاسي ، والجندري ، وفي الحمى القرمزية . ولعت روكيتانسكي ، وميكل (1853) ، وفيرشو (1854) الانتباه الى السمات التشريحية والاسبابية للتحلل الخلوي التخمري . وفي اليرقان المزمن مع الاحتقان بهارض قانون كورفواريه (1890) وتيريه (Turner) (1892) ضمور المرارة في الرمال بالتعدد الضفطي في سرطان رأس البنكرياس .

الغدد الصماء أو ذات الافراز الداخلي .. أثناء سرطان البنكرياس ، بحسب رأي سيفر Segre (من ميلانو) وبارد Bard وبيك Pic (ليون 1888) ، أضيفت سمات أخرى الى اللون الزيتي لصاحب اليرقان هي السقام السريع ، وعلامات في البراز ، وآلام وأوجاع . إن الدلائل البنكرياسية في السكري قد ذكرها برايت Bright ، وشوبارت Chopart ، وبوشاردات Bouchardat ، وبعد صمت طويل ، سنة 1877 رأى لانسرو Lancereaux ، في الاصابات البنكرياسية سبب السكري الهزالي ، ذي التطور السريع ؛ وأدى استئصال الغدة الى إصابة الحيوان بالسكري (ميرنج Mering ومنكوسكي Minkowski 1881 ، اميل هيدون E.Hédon 1892) . وهكذا تم التوصل الى الافتراض بأن السكري الهزالي مرتبط بغيب في وظيفة البنكرياس : في الافراز الداخلي . وبين لاجيس (Laguesse) (1898) ان هذا الافراز الداخلي يتمركز في الخلايا [الانسولينية] التي وصفها سنة 1869 ، لانجرهانس (Langerhans) .

وقام الجراحان السويسريان ج. ل. وفردين (1882) وكوش (1893) ، التخصصان بجراحة تضخم الغدة الدرقية بجذب الانتباه الى المزال العام الناتج عنها والذي يعقب استئصالها وربط ذلك بالقصور في الدرقية . ولاحظ غول Gull ، وشاركوت وباليه ، واورد هذا التحول الذي أخذ اسم « ميكسوديم » أو خَبْز [استسقاء] . وبين فردين وكوش أن الكزاز الذي يعقب العمليات سببه الإستئصال العارض للغدة جنبدرقية . والصورة العادية للحوصلة الجحوظية ، التي عرفها بشكل خاص ر. ج. غرافس (1835) ، بعد باري (Parry) (1825) وقيل باميلو (Basedow) (1840) لم تعرف في فرنسا الا بعد أن عرضها شاركوت (1856) . وبين كلود برنار دور المصعب الودي في التناذر المحفوظ (تمدد في الحديقة ، خفقة وجحوظ) . وأثبت ماري الارنجايف . ونسب نفس المؤلف اسم « ضخامة الأطراف » (1885) الى ورم في الغدة النخامية يؤدي الى « تضخم فريد » في الأطراف . وفي سنة 1855 ، وفي مستشفى «غيز هوسبيتال» (Guy's Hospital) في لندن ، لاحظ اديسون اللون البرونزي في الأغشية ، والتعب الأقصى عند المرضى الذين يصون ، وبين التشريح أنهم يعملون أمراض في كبسولات فوق الكليتين . وأكد براون - سيكارد (Brown-Séquard) (1856) ، وابيلوس ولاغلو (1892) عن طريق التجريب المعطيات العيادية . ولقت الانتباه إميل سرجنت وليون برنار الى القصور فوق الكليتين الحاد (1898) .

علم البولة والكلل .. لقد قلب ادخال الفحص بالناظور (نيزر ، 1885) علم الأمراض الثاني رأساً على عقب ، وتجاوز بعيداً المحاولات التنظيرية الباطنية التي قام بها ديورمو (Desormeaux) (1865) ، وكرويز (من دولين) ، وبروك Bruck (1867) . ان أمراض البروستات قد كشفت: دمل ، سل ، تضخم ، سرطان . وادخل غويون Guyon التطهير والتعقيم في علم البولة . ان تحليل البول الطبيعي والمرضي ، اتخذ أهمية متزايدة مع أوليفيه ويرجرون ، وغويلر (1865) ، في حين تكاثرت الأعمال حول علم الأمراض الكلوية .

التخصصات .. لقد تحول علم الحنجرة كثيراً بفضل مرآة أطباء الاسنان ، المعتمدة في دراسة الحنجرة ، على يد مانويل غارسيا ، استاذ الغناء في لندن (1854) ؛ أما ادخال المِرْزُ (معيار النغم) في البحث عن أسباب الطرش فيعود الى بونافونت ، تلميذ إيتارد ، والعمل الابرز في تطبيق هذه الطريقة يعود الى بيزولد ، من ميونخ : انخفاض ادراك الأصوات العميقة بسبب مرض الأذن وفقدان سماع الأصوات الخادة في حالة المرض في التيه التجويفي . وجذب الانتباه مير Meyer من كوبنهاغن الى الانسائت العديدة ، التي تسبب التهاب الأذن الوسطى والطرش والقصور التنفسي عند الأطفال .

علم طب العيون .. لقد طُوِّر كثيراً منظار هلمهولتز (1861) البصري في علم طب العيون الذي استفاد مثل علم طب الأذن والأنف والحنجرة من التخدير الموضعي ومن الاكتشافات الباستورية .

طب الجلد... قُرْبَ بازُن بين التصنيفات الجلدية التي وضعها ويلان وآليبرت وبلنك ، ولُغِب دوراً مهماً لاستهواء كان من سماته التوسع التدريجي ، والميل الى المعاودة . وظل تصنيف هيرا : احتقان الدم وفقر الدم ، والاضطرابات الاقرازية ، والتضخم (1845) سائداً لمدة طويلة . وأسس اونا Unna ، من ميمبورغ (1850-1924) علم الأنسجة الاستطابي .

طب السرطان : - يضاف إلى قانسون مولسر Müller ، الذي سبق ذكره ، قانسونان جديدان : أ) الخلايا المتجددة تورماً في حمل تتوالد توالداً غير مباشر ، من خلايا سابقة (ريماك ، فيشو ، 1852) ؛ ب) يوجد في البلاسما الجليدية خصوصية خلوية : أن النسيج لا يستطيع أن يولد إلا خراجاً ذا بنية نسيجية مماثلة (ولديسر 1870 ، بارد 1890) . « كل خلية هي خلية » يقول فيرشو ؛ ويضيف بارث « من ذات الطبيعة والنوع » .

فن التجبير . - ابتداء من سنة 1840 ، خرج فن التجبير من الظل . فالنشويبات الولادية أو المكتسبة في الأطراف وفي العمود الفقري قد عرضت ، وصنفت ، وعولجت بقدر الإمكان . ومن بينها الإلتواء القلاوي في الورك ، احتل مركزاً كبيراً في أذهان الباحثين ؛ ولكن عدا عن دور الوراثة ، وعن سوء التشكل ، لم تبنَ نظرية ركولوس - فرنوي (Reclus-Verneuil) (1878, 1890) التي تؤكد على طبيعته غير الولادية ، ولا الإصابة المعصية التي قال بها لانيلونغ (Lannelongue) ، كافتيتين في تفسيره . أما السلس المفصلي المتأخر بعد الصدمة فقد كان موضوع تجارب متضاربة قام بها كل من م . شولر Schüller (1878) ولانيلونغ وإشارد (Achard) (1899) . أما تقنية الأجهزة الجفصينية فهي تعود إلى انطونيوس ماتيجسن (A. Mathijssen) (1852) .

الأمراض الويائية وطب الأطفال . - إن الدلائل والإشارات المنذرة بالأمراض الويائية والإعدائية لهذه الأمراض ، قد ظلت لمدة طويلة تثير اهتمام الأطباء . ومن بين الأمارات نجد : الذبحة الروماتيزمية الصدرية (لاسيغ ، 1868) ، الخفقان (تروسو ، ش . فيسنجر) (Trousseau. Ch. (1869) ، الخناق الأحمر ، والذي يسبق ظهور الحمى القرمزية (كادت دي غاميكورت Cadet de Gassicourt الخ) ؛ علامة كوبليك Koplik (نيويورك ، 1896) التي تنذر بالحصبة ، والطفح المنذر بالجدري . وظهرت آراء حول انتشار الحصبة ، وحول مدة عدوى الحمى القرمزية ، والندفيري (الخناق) والجدري . وأخذت الحمى مركزها بين الأمراض الطفحية ، ابتداء من سنة 1881 ، وميزها تالامون (1890) عن الحصبة ، كما ميز الخناق (جدري الماء) عن الجدري .

وطبقت كلمة السفلس الموروث على الجنين الحامل لجراثيم خاصة مقلوبة قبل ميعادها ، كما على بعض المظاهر المتأخرة : الهزال الجمجمي ، الشلل الكاذب الذي قال به باروت (Parrot) (1869) ، الإصابات القلبية الوعائية ، الورم اللحمي ، ثالث هوتشسون (Hutchinson) (1861) : التهاب القرنية ، الطرش ، ثلثة نصف هلالية في طرف القواطع العليا من الأسنان ، ثلثة دائرية في الناب .

وفي حين دار النقاش حول شكل السلس الأكثر شيوعاً عند الأطفال ، ذكر تروسو أن الربوبيد في الطفولة ، وجري أيضاً خمس درجة الحرارة أثناء التهاب القصبة الرئوية ، وكذلك أمراض التهاب تجريف الرئة ، وكثرة الإصابات الرئوية الجرثومية بعد الإصابات الرئوية ، أو المستقلة عن هذه الأخيرة .

وحاول روكيتانسكي من فينا أن يكشف عن الأمراض القلبية الولادية (1875) . وأكد هـ . روجر (1875) أن الاتصال بين البطيخ لا يقتصر بازرقاق البشرة ، وبين فالوت Fallot (1888) أن أمراض القلب

مع الازرقاق تنتمي الى أمراض مشتركة . ويربط ويل Weill ، ووست West وهينوك Henoch ، الأمراض القلبية الشغافية الذاتية [غير المسببة بمرض آخر] بالروماتيزم المفصلية ، ورفق ويل Weill بين الالتصاق القلبي الروماتيزمي وبين الالتصاق السلي . وركز العديد من المؤلفين على كثرة التهاب عضلة القلب ، في حمى التيفوئيد ، والدفتيريا (الخناق) والجذري ، أثناء الطفولة . وأضاف ستيل Still تصخم الطحال (1897) عند الطفل المصاب بروماتيزم وبائية مزمنة تظهر مقرونة بأمراض الغدد عند الإنسان البالغ . وبحسب رأي تيرسيلين (Thiercelin) يعود عجز الوليد الجديد ، المسمى بالحجن [ضمور الأطفال] الى أسباب متعددة . في حين عرض بارلو Barlow داء الحفر الطفلي (Scorbut) (1883) . درس الأميركي دون Dunn ، ولونيك Lünbeck ومسنيت (Mesnet) النزف [بسبب سيولة الدم] وبعض عواقبه . وكان كاسايت Cassaët (1896) مؤلف كتاب كلاسيكي حول التهاب الصفاق الذي تسببه جرثومة في الرئة . أما الجين [تجمع سائل في البطن] عند الصبايا ، واختلال الزرذعة عند الأطفال الرضع ، والموت بالتصخم التيفوسي فقد كانت هي أيضاً موضوع دراسات مهمة .

واعترف ويشلسلوب (1887) بأن المكورات السحائية هي العنصر المولد لمرض السحايا المخي الشوكي . وجمع بورنيل Bourneville وبريسو (Brissaud) تحت اسم التيس التدرني في الدماغ عدة حالات في تدهور الذكاء .

وكانت الأورام الدماغية موضوع العديد من الدراسات في حين يَن أسبين Espine وبيكو Picot ان الصرع تخفي طويلاً بشكل وجع بسيط (1889) . ودرست طبيعةً وموصُفٌ ووصفٌ بمجمل التهاب السحايا السلية ، من قبل ليديسرد (1833) ، وفابر وكونستانت (Fabre و Constant) وريليه (Rilliet) وبارتيز (Barthez) ؛ وأضاف بوشوت Bochut الى الجدول العيادي وجود حبيبات في مشيمة العين كشفها منظار العين . وفي سنة 1861 عزلت ديليجيا (الشلل المزودج) (diplégie) الانكليزي ليتل Little ومرض فريدريك Fredreich ؛ ووصف سان فيليب المستيريا الطفولية وفتح المجال الى تحديدها وتعريفها الواضح .

التسمم - ان المظاهر المختلفة للتسمم بالرصاص كانت موضوع بحوث مهمة قام بها تنكربل دي بلانش Tanquerel des Planches ، وغريبول ، وشاركوت ، ودوشين ولانسيرو في فرنسا ، وغارود في انكلترا ، وتسروپ في ألمانيا . إن « كتاب التسممات » الذي وضعه تارديو (Tardieu) (1867) يلخص الأعمال المتعلقة - خاصة - بالتسمم المزمن بالأفيون ، والزربخ والفوسفور .

الاستطباب - استمرت إجراءات الزمن الماضي ، رغم الشجب الصارم من قبل تروسو ، ويدوكس وك . بول (1876) . وبعد أن وُيخ تالامود سنة 1896 ، الفصد والمقيء ، اعترف بأن الدواء النفعي قد « قاوم كل المهاجمات وكل النظريات » . واغتنى المخزن الاستطبابي . ولكن وقت التأمل بين الاكتشاف والتطبيق لم يَصُقْ إلا تدريجياً . ولم يدخل الاسبيرين المكتشف سنة 1853 (جرهارد Gerhardt ، ألمانيا) لم يدخل في الاستعمال الا سنة 1899 . وشجرة الستروفانتوس ، وقد ذكرها نوتشار (1864) استعمالها دوجاردان - بومتر وهوكوا كمقو للقلب (1885) ، ولكن الستروفانتين المستخرج من قبل فرازر (1869) اكتشف انه خطر من قبل بوتين (Potain) .

ولم يستعمل « الهكساميتالين - ترامين » الذي اكتشفه بوتلروف (1860) كمدبر للبول ، ومضاد للحمض ، إلا بعد عودته من ألمانيا تحت اسم أوروتروين ، وبرومور البوناسيوم اكتشفه الإنكليزي لوكوك (1851) كدواء خاص بالصرع . واستعمل كوهل ولويتمان الأسيد ساليسيليك ضد الأمراض الوبائية (1875) ، واستعمله ستريكر ضد الروماتيزم المفصلي الحاد (1876) ، في حين استبدله ج. سي (G.Sée) بسالييلات الصود . وادخل ش. كريد (C.Credé) من لييزيغ ، استعمال نترات الفضة المحلول ضد رمذ الأطفال الحدد (1884) ، والمراهم ذات أساس الفضة الغروية ضد الأمراض الوبائية (1897) ؛ ومنذ 1902 أصبحت الفضة الهلامية شائعة على يد نتر (Netter) . أما الزرقعة في الوريد المحلول كلورور الصوديوم ، وقد أدخلها ضد الكوليرا جوليشن (موسكو 1832) فقد استعادها مؤلفون كثيرون ومنهم هايم (1884) . وتبنى استعمال زهرة الديجيتال السامة كل من تروسو ويديوكس للمعالجة القلبية ، ولكن هذا الدواء سرعان ما استبدل بالديجيتالين المبلر [المخبري] الذي أعده سنة 1871 ناتيفل (Nativelle) . ونصح مونيرت (Monneret) سنة 1849 استعمال مشتقات نترات البسموت في الإصابات المعدية المعوية .

وبعد ملاحظات واعية ، دشن براند (Brand) من ستيتن (Stettin) معالجة مائية ونفسانية لحمى التيفوئيد وعرفت هذه المعالجة نجاحاً يستحقه . وأدخلها الى فرنسا غلينارد Glénard ، ولكنها تحولت تحويراً مهماً فيما بعد .

وأدى اختراع التطبيب بالمصل الى قلب الطرق القديمة . وكان أول مصل هو المصل ضد الكزاز الذي نجح بشكل خاص كتدبير وقائي (بهرنغ وكنيتاساتو ، 1890 ؛ ورو Roux وهمايار Vaillard 1893 ؛ ونوكار Nocard) . وصنع روبرسين أمصالاً ضد الطاعون (1894) ، ضد الحماوى (1898) : وخفف هذا الدواء الأخير بشكل صخيم معدل الوفيات . ثم جاء المصل ضد الخمض العقدي الذي ابتكره مارمورك (1895) والمصل ضد الديزنتاريا الذي وضعه شيفا (Shiga) (1898) . ووصف سيجر في ألمانيا ، وكانتاني في إيطاليا ، وبوشاردات في فرنسا ، الحمى الغذائية بدون سكريات في حالة مرض السكر المعلي .

وظهر التطبيب بالهواء في معالجات السل (بريمر ، 1856 ، ودتولر ، 1880) . وحصلت مجازر من جراء تأكيد كوخ Koch (1890) الطائش الذي اعتقد أن مصله يشفي السل الرئوي في بدايته . في سنة 1894 ، حصل فورلانيي Forlanni ، من بافي Pavie على اراحة الرئة ، بإملاء الغشاء الصدري الرئوي اصطناعياً بالهواء .

وبقي الملاذ الوحيدة ضد السرطان ، البتر ، ولكن كي الدمبل قد جُرب من قبل نيلاتون (Nélaton) (1850) بواسطة المكوى الكهربائي الذي وضعه هيدر (Heider) (1844) . واستعمل باكيلان (Paquelin) المكوى الحراري (1875) لتصريف التهاب الأعصاب الحاد والمزمع وجميع الأمراض العصبية . ودخلت أدوية عديدة مجال الطبابة منها : القطران ، الفقي ، المضفع (زهر النرجس) ، نيتريت الأميل (عشب) ، الخمر المدر المصنع في ميتم « الشاريتي » أو في أوتيل ديو ، بودور البوتاسيوم ، البلادون (حشيشة اللقاح) ، الكورار (نبات سام) ، وسم الايزيرين [قلوئي من

حمصة كالابار] ، هيبوسيامين ، والكولورال والدابرين [أو الجويدار] ، وكلوورود الكالسوم .

الطب الشرعي - كان امبرواز تارديو Ambroise Tardieu (1818-1879) يمالج باتقان من الإجهاض ومن قتل الولد ، ومن الشق ، والاختناق الخ . ووجه ب.برواردل (1837-1906) الطب الشرعي في سبيل حذر جداً ، في حين كان لاكاسانيه (1843-1924) من ليون يدرس تأثير الوسيط على المجرمين ، وكان ميزار لومبروزو ، (1830-1909) في إيطاليا يثير المناقشات الحامية حول نظريته و المجرم بالولادة . نذكر أيضاً أعمال علماء الطب العقلي لوغران دوسول وج . فالترت ودراسات لاسيغ Lasègue ، حول المسؤولية القانونية للمجانين ، وحول الهذيان الغضبي ، التي ما تزال مقدرة .

الصحة - كانت البطلة فلورانس نايتغابيل (1820-1910) في انكلترا ، مصلحة المستشفيات ، والمستوصفات والمأوي ، والسجون ، وقد أنشأت نقابة الممرضات ، واللواتي يمدن للخدمة أيام السلم كما في أيام الحرب . وفي فرنسا ، عمل ميشال ليفي M.Lévy ، مأخوذاً بالحركة العلمية وبالأفكار الاجتماعية السائدة سنة 1848 ، ضد الإهمال في مجال الصحة وبتهاون السلطات العامة وذلك في كتابه الرابع « كتاب الصحة العامة والخاصة » (1858) ؛ وبعد أن عمل على تخفيف الازدحام في قاعات مستشفى « فال دي غراس » خفف من نسبة الوفيات أثناء وباء الكوليرا . وكان هو صاحب الدعوة الى إعادة التلقيح الاجباري ضد الجدري ، في الجيش . وأصبح هذا التلقيح غير مضر بفضل اضافة الغليسرين الذي كان يقتل الجرثائم ويتيح نقل اللقاح لمسافات بعيدة (ساكبي Sacquépée ، ليون 1896) .

الصراع ضد الأمراض الوبائية - من أجل مكافحة الكوليرا ، دعا بروست إلى تركيز الاهتمام الإداري الصحي عند الحدود . ونصح باركس (لندن) وبرونر (القاهرة) الكفاح من أجل نظافة المدن . وبدأ الصراع ضد الجردان المرضى بالطاعون بعد اكتشاف باسيل يرسين (1894) . وفي سنة 1891 ، بين مونود أن التوزيع العام لمياه الشرب يخفف من معدل الوفيات بحمى التيفوئيد .

أما الوقاية من الملاريا ومكافحة بعوضة الانوفيل بتجفيف المستنقعات ويزراعة شجرة الاوكالبتوس فقد درست طويلاً ووضعت موضع التطبيق .

الطب الاجتماعي - عرف جول غيرين (Jules Guérin) ، سنة 1848 ، الطب الاجتماعي بأنه « الطب في خدمة المجتمع » . وقيل فيما بعد أنه « الزواج الموفق بين الصحة والعبادة » أو أنه أيضاً « علاقة الصحة الاجتماعية بالسياسة الاجتماعية » (ر . صاند) . وفي سنة 1848 وضع بودان برنامجاً واسعاً حول « مكافحة الوفيات المرتفعة ... اننا بحاجة الى الهواء الصالح للتنفس وإلى الغذاء الوفير ونحسن الصحة في الجيش وفي البحرية » . وفي سنة 1851 حصل وباء الكوليرا ، فادى الى اجتماع في باريس ، في أول مؤتمر دولي ، وفي سنة 1874 ، أنشئت سكريتلريا بإتمة كلفت بتعميم وتجميم المعلومات المتعلقة بالأوبئة . واكتشف فيرشوف في سيلييا للصابية وبواء التيفوئيد ، تأثير ظروف المعيشة الصحية التي يعيشها الحائكون . يقول « الأطباء هم المحامون الطبيعيون عن الفقراء » . وللمسألة الاجتماعية تدخل في معظمها ضمن قضائهم . ولكن في الولايات المتحدة الاميركية ، حيث وضعت أنظمة صحية اجتماعية ، في مختلف الولايات ، رأى المسترغون ، كما يقول شريوك ، ولولادة ، أن نداءات الجسم الطبي « هي مخططات القصد منها سيادته ومنافعه الذاتية »

وظهرت لأول مرة الطبابة التي تسبق الولادة ، سنة 1890 ، وذلك عندما أنشأ أدولف بينار أول مستوصف ، وذلك في المستشفى النسائي بوديلوك . وتبعه سبنسر (لندن 1891) وبالتين (أدنبره 1901) .

وفي انكلترا أنشئ المكتب العام للصحة العامة سنة 1848 . وفي فرنسا طالب ليثري بإنشائه سنة 1858 . وأنشئت مكاتب مماثلة في مختلف الدول الاميركية ابتداءً من سنة 1855 . وأسّس م . فون بتيكوفر سنة 1866 أول معهد للصحة في ميونخ ، وأوجد عبارة الصحة الاجتماعية ، ولكنه تنقّص من أهمية الميكروبات . وفي فرنسا عمل الأطباء التواب على وضع قوانين لحماية الطفولة (1874) ، وحول تنظيم المساعدة الطبية المجانية (1893) ، وحول المسؤولية عن حوادث العمل (1898) . وأخيراً جاء قانون 15 شباط سنة 1902 حول حماية الصحة العامة ، فجمع ولخص مختلف الجهود المبذولة خلال هذه الحقبة .



في فجر القرن العشرين .- ما هي الحدود التي سوف يضمها المؤلفون للقرن التاسع عشر ؟ الواقع هو أن الانتقال يبدو غير محسوس . في السابق وحوالى 1897-1900 ، كان بالإمكان التنبؤ بأن العلم الطبي ، ودون أن يتوقف عن كونه تشريعياً عيادياً ، سوف يركز ، أكثر فأكثر على معطيات علم البكتيريا أو الجراثيم ، وعلى أساليب المحتر التي تحتاج الجراحة ومختلف الاختصاصات ، الى طلب معونه بشكل ضروري ملج . ان تطور الراديولوجيا أو التصوير بالأشعة قد نأمن في نظر وفي فكر أولئك الذين يؤمنون بالمستقبل بحيث أنهم يرون أن أمالهم قد تجاوزها العلم . في مجال السل الرئوي فرض العصر التصوير التشريحي العيادي . وسوف يستفيد علم المعدة الباطني ، وطب القلب وأمراض المفاصل والعظام ، الى حد بعيد من اكتشاف أشعة رونتجن Rontgen (الذي كان تأثيره في طب السرطان قد أشار اليه فريبن Friebe سنة 1902) . ومن جهة أخرى سوف تأخذ أحداث معروفة ولكنها فردية أهمية لم تكن متوقعة . إن تسجيل الفيزيولوجي الانكليزي كاتون Caton للتيار الكهربائي فوق حسم الحيوان الخاصص للتجربة (1875) ، أدى سنة 1902 الى وضع المسجل الدماغى الكهربائي من قبل هانس برجر وأطلق ماجندي (1839) وفلكسنر Flexner (1894) علم فرط الحساسية الذي قال به شارل ريشيه Charles Richet وبورتييه Portier (1902) فأصبح فكرة خصبة .

ومن السهل ، في عصر تسود فيه المضادات الحيوية ، ربط السلاسل التي تصل بين الاكتشافات الأكثر حداثة ، وبين الأفكار الملهمة التي قال بها روبرتس Roberts (1874) ، وتندال Tyndall (1876) وباستور Pasteur وجوبرت Joubert (1877) ، وأطروحة دوشين (ليون ، 1897-1898) ، حول الشافى بين الميكروبات والعفن ، ولكن لا شيء أفاد عن مثل هذا التطور . وعندما اكتشفت ماري وبير كوري Pierre Cune البولونيوم والراديوم سنة 1898 هل كما يظنان انها أوحدا أمالاً كبيرة ، وبخاصة في تطبيق كان غير مأمول للسرطان ؟ وياجناز الحماجز الواهي ، حاجز شهر كانون الأول سنة 1899 نجد للذكر ، في سنة 1900 ، كتاب فرويد (Traumdeutung) الذي اندفع في

طريق الشهر . ولندستينير Landsteiner الذي بين « أن مزيج دم شخصين من نفس النوع قد يعقبه أحياناً تجمع [تخثر] في الدم » (أ. تري A. Tetry) . وفي سنة 1903 اكتشف ليشمان ودونوفان Donovan العامل في مرض الطحال المسمى كالاً - ازار Kala-azar . وفي مدريد ألفى بافلوف Pavlov أول مداخلة له حول الانعكاسات الشرطية ، كما أن المسجل الكهربائي لحركات القلب الذي وضعه النيرلندي انتوهوف Einthoven ، سوف يفي مجال علم القلب بمعطيات ثمينة كانت حتى ذلك الحين غير مأمولة .



هذا التحليل للتقدم الرائع الحاصل بخلال القرن التاسع عشر في مجال العلم الطبي ينهي النظرة الشاملة (البانوراما) الى مجمل تطور مختلف العلوم بخلال هذه الحقبة .

وإذاً كان هذا العرص قد يبدو معقداً إلى حد ما ، وموغلأ قليلاً في التقنية ، في نظر بعض القراء الذين لا يقدرّون تمام التقدير ضخامة العمل العلمي الحاصل في القرون الماضي ، فمن الممكن ، بالمقابل ، أن يحكم آخرون ، من المؤلفين لمختلف مظاهر العلم المعاصر ، على هذا العرض بأنه سريع وموجز - على الأقل فيما يخص مجال كل منهم بالذات - وأن يأسفوا لأننا لم نذكر بتفصيل أكبر هذا الاكتشاف ، وذاك التيار من البحوث أو عمل ذلك العالم .

نحن لم نحمل مثل هذه المحاطر عندما واجهنا الاعداد لهذا المجلد ، وكل واحد من هؤلاء المعانين ، قد أتبع له أن يقدر المصاعب في مثل هذا المشروع ودون التطلع الى إرضاء كل هذه الرغبات المتضاربة ، والمتعارضة في أغلب الأحيان ، لدى مختلف أنواع الجمهور ، أردنا أن نرسم شرحاً مفصلاً نوعاً ما ، لتطور مختلف العلوم عبر قرن غني بشكل خاص بالتجديدات من كل نوع ، وقد حاولنا أن نقوم بذلك متجنّبين كل تقنية ليست ضرورية .

نأمل أن تكون اللوحة الاجمالية المحققة على هذا الشكل قد أوفت ، بقدر الإمكان ، بالغرض وأن يكون هذا الوصف التاليفي لمرحلة من أعظم مراحل تاريخ العلم ، قد استطاع أن يقدم لكل عناصر مفيدة للتوثيق وللتفكير . ان بعض الفصول التي تلي تصبغ هذا التطور في إطار أعم وتقدم معلومات إضافية استكمالية حول بعض مظاهر الحياة العلمية ، التي بقيت - خلال هذه الحقبة - جزئياً على هامش الحركة الاجمالية المتركة حول أوروبا الغربية .

بيليوغرافيا عامة للأقسام الخمس الأولى الإطار التاريخي

Cadre historique. — « Histoire générale des Civilisations », t. VI : *Le XIX^e siècle*, par R. SCHNERS, 2^e éd., Paris, 1957. — Coll. « Peuples et Civilisations », t. XIII : *La Révolution française* (G. LEFEBVRE, 2^e éd., Paris, 1957) ; t. XIV : *Napoléon* (Id., 4^e éd., 1953) ; t. XV : *L'éveil des nationalités et le mouvement libéral (1815-1848)* (F. PONTEIL, nouv. éd., 1960) ; t. XVI : *Démocraties et capitalisme (1848-1860)* (Ch. POUTHAS, 2^e éd., 1948) ; t. XVII : *Du libéralisme à l'impérialisme (1860-1878)* (H. HAUSER, J. MAURAIN, P. BENAERTS, F. L'HUILLIER, 2^e éd., 1952) ; t. XVIII : *L'essor industriel et l'impérialisme colonial (1878-1904)* (M. BAUMONT, 2^e éd., 1949) ; J. PIRENNE, *Les grands courants de l'histoire universelle*, IV : *De la Révolution française aux Révolutions de 1830* (Paris, 1951) et V : *De 1830 à 1904* (1953). — Coll. « Destins du Monde », t. IX : Ch. MORAZÉ, *Les bourgeois conquérants*, Paris, 1957. — Coll. « Clio », t. VIII : *La Révolution et l'Empire* (L. VILLAT, Paris, 1957) et IX : *L'époque contemporaine (1815-1919)* (fasc. 1, J. DROZ, L. GENET, J. VIDALENC, 1953 ; fasc. 2, P. RENOUVIN, E. PRÉCLIN, G. HARDY, L. GENET, J. VIDALENC, nouv. éd., 1960) ; D. DONATI et F. CARLI, éd., *L'Europa nel secolo XIX*, vol. III : *La scienza*, Padova, 1932.

مراجع

Bibliographie. — G. SARTON, *Horus, a guide to the history of science and civilisation*, Waltham (Mass.), 1952 ; F. RUSSO, *Histoire des sciences et des techniques : bibliographie*, Paris, 1954 (suppl. phototypé, 1955) ; J. C. POGGENDORFF, *Biographisch-literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften*, 2 vol., Leipzig, 1863 (vol. 3 : 1858-83, 1886 ; vol. 4 : 1883-1903), 1904 ; Royal Society of London, *Catalogue of scientific papers, 1800-1900*, 19 vol., Cambridge, 1867-1925 (index partiel, 4 vol., 1908-1914).

علم ، فلسفة واجتماع — E. BRÉHIER, *Histoire de la philosophie*, fasc. 6 et 7, Paris, 1948-1953 ; J. T. MERZ, *A history of european thought in the 19th century*, 4 vol., Edinburgh, 1896-1914 ; A. D. WHITE, *A history of the warfare of science with theology in Christendom*, 2 vol., New York, 1896 ; F. A. LANGR, *Geschichte der Materialismus*, t. II, 9^e éd., Leipzig, 1915 ; G. SARTON, *The history of science and the new humanism*, New York, 1931 ; A. N. WHITEHEAD, *Science and the modern world*, Cambridge, 1925 ; G. H. MEAD et M. H. MOORE, *Movements of thought in the nineteenth century*, Chicago, 1936 ; G. BACHELARD, *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1938 ; Id., *Le matérialisme rationnel*, Paris, 1953 ; J. G. CROWTHER, *The social relations of science*, London, 1941 ; B. A. W. RUSSELL, *A history of western philosophy*, London, 1946 ; J. B. CONANT, *On understanding science*, New Haven, 1947 ; W. P. D. WIGHTMAN, *The growth of scientific ideas*, Edinburgh, 1950 ; A. d'ABRO, *The evolution of scientific thought...*, 2^e éd., New York, 1950 ; H. DINGLE, *The scientific adventure*, London, 1952 ; J. D. BERNAL, *Science in history*, London, 1954 ; B. RUSSELL, *The impact of science on society*, New York, 1956.

علم وتقنية — P. BIGOURDAN, *Le système métrique*, Paris, 1901 ; P. DUNSHEATH, *A century of technology*, London, 1951 ; L. MUMFORD, *Technique et civilisation*, trad. fr., Paris, 1951 ; L. LEPRINCE-RINGUET, éd., *Les inventeurs célèbres*, Paris, 1951 ; A. P. USHER, *A history of mechanical inventions*, 2^e éd., Harv. Univ. Press, 1954 ; Ch. SINGER, E. J. HOLMYARD, A. R. HALL et T. I. WILLIAMS, éd., *A history of technology*, vol. IV : *The industrial revolution (c. 1750-c. 1850)*, London, 1957 et vol. V : *The late nineteenth century (c. 1850-c. 1900)*, 1958

تاريخ العلم بوجه عام

- W. WHEWELL, *History of the inductive sciences*, 3 vol. London, 1837; A. de CANDOLLE, *Histoire des sciences et des savants depuis deux siècles*, Genève, 1873; F. DANNEMANN, *Die Naturwissenschaften in ihrer Entwicklung...*, 4 vol., Leipzig, 1920-1923; A. BORDEAUX, *Histoire des sciences au XIX^e siècle*, Paris, 1920; E. PICARD, etc., et M. CAULLERY, *Histoire des sciences en France*, 2 vol., Paris, 1921 (t. XIV et XV de l'*Histoire de la nation française* de G. HANOTAUX); R. H. MURRAY, *Science and scientists in the nineteenth century*, London, 1925; M. CAULLERY, *La science française depuis le XVII^e siècle*, Paris, 1933; H. TH. PLEDGE, *Science since 1500*, London, 1939; P. ROUSSEAU, *Histoire de la science*, Paris, 1945; W. C. DANFIEL, *Histoire de la science et de ses rapports avec la philosophie et la religion*, trad. fr., Paris, 1951; H. DINGLE, *A century of science*, London, 1951; J. D. BERNAL, *Science and industry in the nineteenth century*, London, 1953; S. F. MASON, *Histoire des sciences*, trad. fr., Paris, 1956; M. DAUMAS, éd., *Histoire de la science*, Paris, 1957; D. PAPP et J. BABINI, *Las ciencias exactas en el siglo XIX*, Buenos Aires, 1958; Ch. SINGER, *A short history of scientific ideas to 1900*, Oxford, 1959; Ch. C. GILLISPIE, *The edge of objectivity*, Princeton, 1960.
- Ph. LENARD, *Grosse Naturforscher*, München, 1929; J. G. CROWTHER, *British scientists of the nineteenth century*, London, 1935; E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zürich, 1941; S. LINDBRÖTH, éd., *Swedish men of science*, Stockholm, 1952; Éloges académiques de Cuvier, Arago, J.-B. Dumas, J. Bertrand, E. Picard, L. de Broglie, etc.

القسم الأول : الرياضيات

مؤلفات عامة

- D. E. SMITH, *A source book in mathematics*, New York, 1929; J. R. NEWMAN, éd., *The world of mathematics*, 4 vol., New York, 1956; F. MÜLLER, *Führer durch die mathematische Literatur*, Leipzig, 1909; G. LORIA, *Guida allo studio della storia delle matematiche*, 2^e éd., Milan, 1946; G. SARTON, *The study of the history of mathematics*, Harv. Univ. Press, 1936.
- J.-B. DELAMBRE (et S.-F. LACROIX), *Rapports historiques sur le progrès des sciences mathématiques depuis 1789...*, Paris, 1810; A. MACFARLANE, *Lectures on ten british mathematicians of the nineteenth century*, New York, 1916; F. CAJORI, *History of mathematics*, 2^e éd., New York, 1919; D. E. SMITH, *History of mathematics*, 2^e éd., 2 vol., Boston, 1923-1925; F. KLEIN, *Vorlesungen über die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert*, 2 vol., Berlin, 1926-1927; W. W. ROUSE BALL, *Histoire des mathématiques*, trad. fr., 2 vol., Paris, 1927; G. KOWALEWSKI, *Grosse Mathematiker*, München, 1928; N. NIELSEN, *Géomètres français sous la Révolution*, Paris, 1929; G. PRASAD, *Some great mathematicians of the nineteenth century*, 2 vol., Benares, 1933-1934; P. MONTEL, éd., *Les mathématiques*, in *Encyclopédie française*, t. I, Paris, 1937; E. T. BELI, *Les grands mathématiciens*, trad. fr., Paris, 1939; ID., *The development of mathematics*, 2^e éd., New York, 1945; L. BRUNSCVIG, *Les étapes de la philosophie mathématique*, 4^e éd., Paris, 1947; F. LE LIONNAIS, éd., *Les grands courants de la pensée mathématique*, Paris, 1948; D. J. STRUIK, *A concise history of mathematics*, 2 vol., New York, 1948; R. C. ARCHIBALD, *Outline of a history of mathematics*, 6^e éd., Amer. Math. Monthly, 1949; G. LORIA, *Storia delle matematiche*, 2^e éd., Milan, 1950; P. BOUTROUX, *L'idéal scientifique des mathématiciens*, 2^e éd., Paris, 1955; M. D'OCAGNE, *Histoire abrégée des sciences mathématiques*, Paris, 1955; O. BECKER et J. E. HOFMANN, *Histoire des mathématiques*, trad. fr., Paris, 1956; R. E. MORITZ, *On mathematics and mathematicians*, New York, 1958; H. LEBESGUE, *Notices d'histoire des mathématiques*, Paris, 1958.
- F. CAJORI, *A history of mathematical notations*, 2 vol., Chicago, 1928-1929; J. TROPFKE, *Geschichte der Elementar-Mathematik*, 2^e éd., 7 vol., Berlin, 1921-1924 (3^e éd., vol I-IV, 1930-1940); *Encyclopédie des sciences mathématiques pures et appliquées*, Paris et Leipzig, 1904-1914 : tous les fascicules parus contiennent d'importantes précisions historiques sur les sujets traités (cf. F. RUSSO, *Bibliographie...* sup. ronéotypé, 1956, p. 120). Œuvres complètes : voir LORIA, *Guida...*, pp. 204-16 et G. SARTON, *The study of the history of mathematics*, pp. 70-98.

الجبر والهندسة

- Th. MÜLLER, *The theory of determinants...*, 4 vol. et suppl., London, 1906-1930; A. von BRAUNMÜHL, *Vorlesungen über Geschichte der Trigonometrie*, t. II, Leipzig, 1903; A. BRILL et M. NÖTHNER, *Die Entwicklung der Theorie der algebraischen Funktionen in älterer und neuerer Zeit (Jahresbericht d. deutscher Math. Verein., III, 1892-1893)*; C. VERRIEST, *Les nombres et les espaces*, Paris, 1951; E. SCHRÖDER, *Vorlesungen über die Algebra der Logik*, 3 vol., Leipzig, 1890-1895; L. COUTURAT, *De l'infini mathématique*, Paris, 1896; ID., *Les principes*

des mathématiques, Paris, 1906; B. RUSSELL, *Principles of mathematics*, vol. I, Cambridge, 1903; P. E. B. JOURDAN, *The nature of mathematics*, London, 1913; F. ENRIQUES, *Per la storia della logica*, Bologna, 1922 (trad. fr., 1926); A. CHURCH, A bibliography of symbolic logic (*Journ. of symb. logic*, 1936 et 1938); J. CAVAILLÈS, *Méthode axiomatique et formalisme*, 3 vol., Paris, 1938; T. DANTZIG, *Henri Poincaré, critique of crisis*, New York, 1953.

M. CHASLES, *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie*, 2^e éd., Paris, 1875; ID., *Rapport sur les progrès de la géométrie*, Paris, 1870; G. DARBOUX, *Étude sur le développement des méthodes géométriques* (*Bull. sci. math.*, 1893); G. LORIA, *Il passato e il presente delle principali teorie geometriche*, 4^e éd., Padoue, 1931; J. L. COOLIDGE, *A History of geometrical methods*, Oxford, 1940; ID., *A History of the conic sections and quadric surfaces*, Oxford, 1945; M. SIMON, *Über die Entwicklung der Elementar-Geometrie um XIX Jahrhundert*, Leipzig, 1906; F. J. OBENHAUCH, *Geschichte der darstellenden und projektiven Geometrie*, Brünn, 1897; E. KÖTTER, *Die Entwicklung der synthetischen Geometrie...* (*Jahresbericht d. deutsch. Math. Verein*, t. V, 1898-1901); F. AMODEO, *Origine e sviluppo della geometria proiettiva*, Naples, 1939; F. ENGEL et P. STACKEL, *Die Theorie der Parallelen...*, Leipzig, 1895; ID., *Urkunden zur Geschichte der nichteuklidischen Geometrie*, 2 vol., Leipzig, 1898-1913; R. BONOLA, *La geometria non-euclidea*, Bologna, 1906; D. M. Y. SOMMERVILLE, *Bibliography of non-euclidean geometry*, London, 1911; M. PASCH et M. DEHN, *Vorlesungen über neuere Geometrie*, nouv. éd., Berlin, 1926; M. JAMMER, *Concepts of space*, Harv. Univ. Press, 1954; G. LORIA, *Perfezionamenti, evoluzione...*, du concept de coordonnées (*Osiris*, t. VIII, 1918); C. B. BOYER, *History of analytic geometry*, New York, 1951; G. LORIA, *Curve piane speciali...*, 2 vol., Milan, 1930; ID., *Curve sghembe...*, 2 vol., Bologna, 1925; F. AMODEO, *Sintesi storico-critica della geometria delle curve algebriche*, Naples, 1945; D. J. STRUICK, *Outline of a history of a differential geometry* (*Isis*, v. 19 et 20, 1933-1934). Biographies de Poncelet (TRIBOUT, Paris, 1936); Steiner (L. KOLLROSS, Bâle, 1947); von Staudt (M. NOETHER, 1923); Lobachevski (V. F. KAGAN, Moscou, 1948); Bolyai (P. G. STACKEL, Leipzig, 1913); Plucker (W. ERNST, Bonn, 1933); Lie (F. ENGEL, 1899); Darboux (E. LEBON, Paris, 1910); Bianchi (G. FUBINI, 1929).

التحليل ونظرية الأعداد — E. PICARD, Sur le développement de l'analyse... (*Bull. Sci. Math.*, 1904); H. POINCARÉ, L'état actuel et le développement de la physique mathématique (*ibid.*); P. BOUTROUX, *Les principes de l'analyse mathématique*, 2 vol., Paris, 1914-1919; L. GEYMONAT, *Storia e filosofia dell'analisi infinitesimale*, Turin, 1947; O. TOEPLITZ, *Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung*, Berlin, 1949; C. B. BOYER, *The concepts of the calculus*, 2^e éd., New York, 1949; R. REIFF, *Geschichte der unendlichen Reihen*, Tübingen, 1889; A. ENNEPER, *Elliptische Funktionen. Theorie und Geschichte*, Halle, 1890; I. TODHUNTER, *History of the calculus of variations...*, Cambridge, 1861; M. LECAT, *Bibliographie du calcul des variations...*, Goud, 1916; R. POINIER, *Le nombre*, Paris, 1938; J. CAVAILLÈS, *Remarques sur la formation de la théorie abstraite des ensembles*, Paris, 1937; L. E. DICKSON, *History of the theory of numbers*, 3 vol., Washington, 1919-1923; Ø. ØRE, *Number theory and its history*, New York, 1948; R. NÖGUES, *Le théorème de Fermat; son histoire*, Paris, 1932; Biographies de Gauss (L. BIEBERBACH, Berlin, 1938); Abel (L. de PESLOUAN, Paris, 1906; Ø. ØRE, Minneapolis, 1957); Bolzano (E. WINTER, Leipzig, 1933); Cauchy (C. A. VALSON, Paris, 1868).

الاحتمالات والأحصاء — I. TODHUNTER, *History of the mathematical theory of probability*, Cambridge, 1865; G. du PASQUIER, *Le calcul des probabilités, son évolution...*, Paris, 1926; A. MEITZEN, *History, theory and technique of statistics*, 2 vol., Philadelphia, 1891; J. KOHN. *The history of statistics*, New York, 1918; H. M. WALKER, *Studies in the history of statistical method*, Baltimore, 1929; H. WESTERGAARD, *Contribution to the history of statistics*, London, 1932; M. GREENWOOD, *Medical statistics from Graunt to Farr*, Cambridge, 1948; L. MARTIN, *Évolution de la biométrie* (*Bull. Inst. agron.*, Gembloux, t. XVIII, 1948-1949).

القسم الثاني : الميكانيك وعلم الفلك

الميكانيك — E. JOUCURT, *Lectures de mécanique*, t. II, Paris, 1909; E. DUBRING, *Kritische Geschichte der allgemeinen Principien der Mechanik*, 3^e éd., Leipzig, 1887; E. MACH, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 7^e éd., Leipzig, 1912 (trad. fr., Paris, 1904); P. DUHÉN, *L'évolution de la mécanique*, Paris, 1905; E. BOREL, *L'évolution de la mécanique*, Paris, 1943; R. DUGAS, *Histoire de la mécanique*, Paris-Neuchâtel, 1950; M. JAMMER, *Concepts of force*, Harv. Univ. Press, 1954; I. TODHUNTER, *A history of the theory of elasticity*, 2 vol., Cambridge, 1893.

علم الفلك — J. C. HOUZEAU et A. LANCASTER, *Bibliographie générale de l'astronomie*, 3 vol., Bruxelles, 1882-1889; R. GRANT, *History of physical astronomy*, London, 1852; A. BOILLOT, *L'astronomie au XIX^e siècle*, Paris, 1873; C. ANDRÉ et G. RAYET, *L'astronomie pratique et les observatoires...*, 5 vol., Paris, 1874-1881; R. WOLF, *Geschichte der Astronomie*, München, 1877; A. M. CLERKE, *History of astronomy during the 19th Century*, Edinburgh, 1885; R. S. BALL, *Great astronomers*, London, 1907; G. BIGOURDAN, *L'astronomie. Évolution des idées et des méthodes*, Paris, 1911; E. DOUBLET, *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1922; F. BOQUET, *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1924; R. L. WATERFIELD, *A hundred years of astronomy*, New York, 1939; E. ZINNER, *Geschichte der Sternkunde*, 2^e éd., Berlin, 1943; G. ARETTI, *Storia dell'astronomia*, Firenze, 1949; A. ARMITAGE, *A century of astronomy*, London, 1950; P. DOIG, *Concise history of astronomy*, London, 1950; F. BECKER et E. ESCLANGON, *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1954.

H. C. KING, *The history of telescope*, London, 1956; J. A. REPSOLD, *Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge*, 2 vol., Leipzig, 1908-1914; M. DAUMAS, *Les instruments scientifiques aux XVI^e et XVII^e siècles*, Paris, 1953; G. BIGOURDAN, *Histoire de l'astronomie d'observation et des observatoires en France*, 2 vol., Paris, 1918-1930; E. W. MAUNDER, *The Royal Observatory Greenwich*, London, 1900; D. GILL, *A history... of the Royal Observatory, Cap of Good Hope*, Edinburgh, 1913; W. I. MILHAM, *Early american observatories*, Williamstown, 1938; A. N. DADAIEV, *The Pulkovo Observatory*, Moscow, 1958.

A. DANJON et A. COUDER, *Lunettes et télescopes*, Paris, 1935; R. WOLF, *Handbuch der Astronomie...*, 2 vol., München, 1891-1893; F. BRUNNOW, *Lehrbuch der sphärischen Astronomie*, 4^e éd., Leipzig, 1881; F. TISSERAND, *Traité de mécanique céleste*, 4 vol., Paris, 1889-1896; F. R. HELMERT, *Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie*, 2 vol., Berlin, 1880-1884; Ch. ANDRÉ, *Traité d'astronomie stellaire*, 2 vol., Paris, 1899-1900; S. NEWCOMB, *A compendium of spherical astronomy*, London, 1906; F. R. MOULTON, *Celestial mechanics*, London, 1919; L. AMBRONN, *Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde*, 2 vol., Berlin, 1899; Ch. LALLEMAND, *Les marées de l'écorce et l'élasticité du globe terrestre (Annuaire du bureau des Longitudes, 1910)*; H. F. WEAVER, *The development of astronomical photometry (Popular astronomy, 1946, 54)*; Monographies sur Herschel (E. S. HOLDEN, New York, 1881; J. B. SIDWICK, London, 1955); Le Verrier (J. BERTRAND et F. TISSERAND, *Annales de l'Observatoire de Paris, Mémoires*, t. XV, 1880).

القسم الثالث : العلوم الفيزيائية

الفيزياء بوجه عام — W. F. MAGIE, *A source book in physics*, New York, 1935; R. MASSANI, *Physique et physiciens*, 2^e éd., Paris, 1950; J. C. POGGENDORFF, *Geschichte der Physik*, Leipzig, 1879 (trad. fr., 1883); F. ROSENBERGER, *Die Geschichte der Physik*, 3 vol., Braunschweig, 1882-1890; M. MARIE, *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, vol. X à XII, Paris, 1887-1888; P. TANNERY (in LAVISSE et RAMBAUD, *Histoire générale*, t. X, Paris, 1893); E. GERLAND, *Geschichte der Physik*, München, 1913; A. MACFARLANE, *Lectures on ten british physicists of the nineteenth century*, New York, 1919; E. HOPPE, *Geschichte der Physik*, Braunschweig, 1926 (trad. fr., Paris, 1928); F. CAJON, *History of physics*, 2^e éd., New York, 1929; H. VOLKINGER, *Les étapes de la physique*, Paris, 1929; P. SCHURMANN, *Historia de la física*, Montevideo, 1936; A. EINSTEIN et L. INFELD, *L'évolution des idées en physique*, trad. fr., Paris, 1938; J. JEANS, *L'évolution des sciences physiques*, trad. fr., Paris, 1950; G. URBAIN et M. BOLL, éd., *La science, ses progrès, ses applications*, t. I, 2^e éd., Paris, 1950; A. WILSON, *A hundred years of physics*, London, 1950; Ch. BRUNOLD, *Histoire abrégée des théories physiques concernant la matière et l'énergie*, Paris, 1952.

E. GERLAND et F. TRAUMÜLLER, *Geschichte der physikalischen Experimentierkunst*, Leipzig, 1899; H. DINGLER, *Das Experiment, sein Wesen und seine Geschichte*, München, 1928; P. DUBRE, *La théorie physique*, Paris, 1906; J. FELSENER, *L'évolution de la notion de phénomènes physiques*, Bruxelles, 1947; G. BACRELAND, *L'activité rationaliste de la physique contemporaine*, Paris, 1951; E. B. BURT, *The metaphysical foundations of modern physical science*, London, 2^e éd., 1954.

البصريات — E. VERDET, *Leçons d'optique physique*, 2 vol., Paris, 1869-1870; D. N. MALLIK, *Optical theories*, 2^e éd., Cambridge, 1917; E. HOPPE, *Geschichte der Optik*, Leipzig, 1926; C. PLA, *El enigma de la luz*, Buenos Aires, 1949; E. MACH, *The principles of physical optics*, 2^e éd., New York, 1953; V. ROCHET, *Histoire de la lumière*, trad. fr., Paris, 1956; E. T. WHITTAKER, *A History of the theories of aether and electricity*, 2^e éd., 2 vol., London, 1951-1953; C. E. PAPANASTASSIOU,

- Les théories sur la nature de la lumière...*, Paris, 1935; A.N. DISNEY, C. F. HILL et W. E. WATSON, *Origin and development of the microscope*, London, 1928; R. S. CLAY et T. H. COURT, *History of the microscope*, London, 1932; M. ROOSEBOOM, *Microscopium*, Leiden, 1956; M. von ROSA, *Theorie und Geschichte des photographischen Objectivs*, Berlin, 1899; G. POTONNIÉE, *Histoire de la découverte de la photographie*, Paris, 1925; J. M. EDER, *History of photography*, New York, 1945; R. LÉCUYER, *Histoire de la photographie*, Paris, 1945; H. et A. GENSHED, *The history of photography*, London, 1955; ID., L. M. J. Daguerre, New York, 1959. Monographies sur Young (A. WOOD, Cambridge, 1954); Fresnel (*Revue d'Optique*, 1927); Arago (M. DAUMAS, Paris, 1943); Bunsen (G. LOCKEMANN, Stuttgart, 1949); Maxwell (J. G. CROWTHER, Paris, 1948).
- الكهرباء والمغناطيسية — W. D. WEAVER, *Catalogue of the Wheeler gift of books...*, 2 vol., New York, 1909; E. SARTIAUX et M. ALIANT, *Principales découvertes et publications concernant l'électricité...*, Paris, 1903; P. F. MOTTELEY, *Bibliographical history of electricity and magnetism*, London, 1922; *Collection de mémoires sur la physique*, 8 vol., Paris, 1889-1891; E. HOPPE, *Geschichte der Elektrizität*, Leipzig, 1884; W. BRAGG, *The story of electromagnetism*, London, 1941; E. BAUER, *L'électromagnétisme hier et aujourd'hui*, Paris, 1949; M. GLIOZZI, *L'elettrologia fino al Volta*, Naples, 1937; E. T. WHITTAKER, *A history of the theories of aether and electricity*, 2^e éd., 2 vol., London, 1951-1953; O. FROELICH, *Die Entwicklung der elektrischen Messungen*, Braunschweig, 1905; R. APPLEBY, *Pioneers of electrical communications*, London, 1930; M. F. O' REILLY et J. J. WALSH, *Makers of electricity*, New York, 1909; D. M. TURNER, *Makers of science: electricity and magnetism*, Oxford, 1927. Monographies sur Volta (G. POLVANI, Pise, 1942; A. MIELI, Buenos Aires, 1944); Ampère (L. de LAUNAY, Paris, 1925); Ørsted (G. HAUCHE, Spandau, 1853); Faraday (T. MARTIN, London, 1949; J. P. KENDALL, London, 1955); J. Henry (Th. COULSON, Princeton, 1950); W. Thomson (S. P. THOMSON, London, 1910); Maxwell (*Commemoration Volume*, Cambridge, 1931); J. J. Thomson (Lord RAYLEIGH, Cambridge, 1946).
- الحرارة والثرموديناميك — E. MACH, *Die Principien der Wärmelehre*, 2^e éd., Leipzig, 1900; L. ROSENFELD, *La genèse des principes de la thermodynamique* (Bul. Soc. roy. des Sci. de Liège, 1941, 10, pp. 197-212); K. MEYER, *Die Entwicklung des Temperaturbegriffs*, Braunschweig, 1913; G. BACHELARD, *Étude sur l'évolution d'un problème de physique: la propagation thermique dans les solides*, Paris, 1928; M. PLANCK, *Das Prinzip der Erhaltung der Energie*, Leipzig, 1887; G. HELM, *Die Energetik nach ihrer geschichtlichen Entwicklung*, 1898; W. L. HARDIN, *The rise and development of the liquefaction of gases*, New York, 1899; R. PICTET, *Evolution des procédés concernant la séparation de l'air atmosphérique en ses éléments*, Genève, 1914. Monographies sur Carnot (G. MOURLET, Paris, 1892; E. ARIÈS, Paris, 1920); Mayer (B. HELM, Stuttgart, 1925); Joule (O. REYNOLDS, Manchester, 1892; A. WOOD, London, 1923); Helmholtz (L. KÖNIGSBERGER, Braunschweig, 1902); Boltzmann (E. BRUDA, Vienne, 1955; R. DUCAS, Paris, 1959); Gibbs (L. Ph. WHEELER, New Haven, 1951).
- الكيمياء — H. M. LEICESTER et H. S. KLINKSTEIN, *A source book in chemistry, 1400-1900*, New York, 1952; R. MASSAIN, *Chimie et chimistes*, Paris, 1951; H. C. BOLTON, *Select bibliography of chemistry, 1482-1892*, Washington, 1893 (2 suppl., 1899 et 1904); J. FERGUSON, *Bibliotheca chemica...*, 2 vol., Glasgow, 1906; D. L. DUVEIN, *Bibliotheca alchemica et chemica*, London, 1949. F. HOFER, *Histoire de la chimie*, 2 vol., Paris, 1866-1869; R. KOPF, *Die Entwicklung der Chemie...*, München, 1873; A. LADENBURG, *Histoire du développement de la chimie*, trad. fr., Paris, 1909; W. OSTWALD, *L'évolution d'une science: la chimie*, trad. fr., Paris, 1909; E. THORPE, *History of chemistry*, 2 vol., New York, 1909-1910; E. von MEYER, *Geschichte der Chemie*, 4^e éd., Leipzig, 1914; M. DELACRE, *Histoire de la chimie*, Paris, 1920; R. MEYER, *Vorlesungen über die Geschichte der Chemie*, Leipzig, 1922; A. KIRRMANN, *La chimie d'hier et d'aujourd'hui*, Paris, 1928; G. BUGGE, éd., *Das Buch der grossen Chemiker*, 2 vol., Berlin, 1929-1930; H. METZGER, *La chimie*, Paris, 1930; A. FINDLAY, *A hundred years of chemistry*, 2^e éd., New York, 1948; J. R. PARTINGTON, *A short history of chemistry*, London, 1948; A. J. BERRY, *Modern chemistry...*, Cambridge, 1948; H. E. FIERZ-DAVID, *Die Entwicklungsgeschichte der Chemie*, 2^e éd., Bâle, 1952; H. M. LEICESTER, *The historical background of chemistry*, New York, 1956.
- A. WURTE, *La théorie atomique*, Paris, 1904; J. PERRIN, *Les atomes*, Paris, 1920; P. KIRCHBERGER, *Die Entwicklung der Atomtheorie*, Karlsruhe, 1926; J. C. GREGORY, *A short history of atomism*, London, 1931; G. BACHELARD, *Les intuitions atomistiques*, Paris, 1932; M. E. WEEKS, *Discovery of the elements*, 5^e éd., Easton, 1945; W. RAMSAY, *The gases of the atmosphere...*, 3^e éd., London, 1905; W. OSTWALD, *Elektrochemie, ihre Geschichte und Lehre*, Leipzig, 1896; M. BERTHELOT, *La synthèse chimique*, Paris, 1875; J.-B. DUMAS, *Leçons sur la*

philosophie chimique, Paris, 1878; E. GRIMAUD, *Théories et notations chimiques*, Paris, 1884; C. SCHÖNLEMMER, *The rise and development of organic chemistry*, London, 1894; E. HUELT, *Geschichte der organischen Chemie*, Braunschweig, 1916; C. GRAEBE, *Geschichte der organischen Chemie*, Berlin, 1920; E. O. von LIPPMAUN, *Zeittafeln zur Geschichte der organischen Chemie 1500-1890*, Berlin, 1921; F. LIEBEN, *Geschichte der physiologischen Chemie*, Leipzig, 1935; Ch. A. BROWNE, *Source book on agricultural chemistry*, Waltham (Mass.), 1944; A. MITTASCH, *Kurze Geschichte der Katalyse*, Berlin, 1932; A. et N. CLOW, *The chemical revolution*, London, 1952; G. BACHELARD, *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*, Paris, 1932; W. PRANDTL, *Deutsche Chemiker in der ersten Hälfte der neunzehnten Jahrhunderts*, Weinheim, 1956.

Biographies of Avogadro (I. GUARESCHI, Bâle, 1903); Berzelius (W. PRANDTL, Stuttgart, 1948); Dalton (F. M. BROCKBANK, Manchester, 1944); Davy (J. G. CROWTHER, Paris, 1939); Gerhardt (E. GRIMAUD, Paris, 1900); Laurent (C. de MILT, *Chymie*, IV, 1953); Liebig (R. BLANC, Berlin, 1938); Mendéléev (D. Q. POSIN, New York, 1948); Berthelot (A. BOUTARIC, Paris, 1947); Van't Hoff (E. J. COHEN, Leipzig, 1912); Gibbs (L. Ph. WHEELER, New Haven, 1951).

القسم الرابع : علوم الأرض

علم المعادن

— F. von KOBELL, *Geschichte der Mineralogie, 1650-1860*, München, 1864; H. MITZGER, *La genèse de la science des cristaux*, Paris, 1918; P. von GROTE, *Entwicklungsgeschichte der mineralogischen Wissenschaften*, Berlin, 1926; A. TERTSCH, *Das Geheimnis der Kristallwelt*, Wien, 1947; A. LACROIX, Ch. MAUGUIN et J. ORCEL, René-Just Haüy (*Bul. Soc. franc. de Minér.*, t. 67, 1944); R. HOOVER, *La naissance de la cristallographie en France au XVIII^e siècle*, Paris, 1953.

الجولوجيا

— K. F. MATHER et S. L. MASON, *A source book in geology*, New York, 1939; E. de MARGERIE, *Catalogue des bibliographies géologiques*, Paris, 1896; Id., *Critique et géologie*, 4 vol., Paris, 1943-1948; K. A. von ZITTEL, *History of geology and paleontology*, London, 1901; A. GEIKIE, *The founders of geology*, 2^e éd., London, 1905; S. MEUNIER, *L'évolution des théories géologiques*, Paris, 1911; L. de LAUNAY, *La science géologique*, 3^e éd., Paris, 1922; F. D. ADAMS, *The birth and development of the geological sciences*, Baltimore, 1938; C. C. BERINGER, *Geschichte der Geologie und der geologischen Weltbildes*, Stuttgart, 1954; H. HOLDER, *Geologie und Paläontologie in Texten und ihrer Geschichte*, Freiburg-München, 1960.

A. d'ARCIAC, *Histoire des progrès de la géologie de 1334 à 1845*, 8 vol., Paris, 1847-1860; L. ÉLIE DE BEAUMONT, *Rapport sur les progrès de la stratigraphie*, Paris, 1869; Ch. DAVISON, *The founders of geology*, Cambridge, 1927; G. PERRIER, *Petite histoire de la géologie*, Paris, 1939; O. OLSEN, *La conquête de la Terre*, 6 vol., Paris, 1933-1937; F. E. ZEUNER, *Dating the Past. A introduction to geochronology*, New York, 1956; Ch. C. GILLISPIE, *Genesis and geology*, Harv. Univ. Press, 1951; G. SARTON, *La synthèse géologique de 1775 à 1918 (Isis, II, 1919, pp. 357-94)*. Monographies sur Lyell (K. M. LYELL, London, 1881); Élie de Beaumont (Ch. SAINT-CLAIRE DEVILLE, Paris, 1876; P. FALLOT, *Annales des Mines*, 1934); Constant Prévost (J. GOSSELET, Lille, 1896).

H. B. WOODWARD, *The history of the Geological Society of London*, London, 1937; P. MERRILL, *Contributions to the History of American Geology (Report of the United States National Museum for 1904, Washington, 1906, pp. 189-734)*; H. LE ROY FAIRCHILD, *The Geological Society of America (1888-1930)*, (Publ. Geol. Soc. Amer., 1932).

القسم الخامس : علوم الحياة

دراسات عامة

— G. CUVIER, *Rapport historique sur le progrès des sciences naturelles*, Paris, 1810; Id., *Histoire des sciences naturelles*, 5 vol., Paris, 1831-1845; H. de BLAINVILLE, *Histoire des sciences de l'organisation*, 3 vol., Paris, 1845; E. RÄDL, *Geschichte der biologischen Theorien*, 2 vol., Leipzig, 1905-1909 (2^e éd., t. I, 1913; adapt. angl. du t. II, New York, 1930); B. GRASSI, *I progressi della biologia*, Rome, 1911; W. A. LOCKY, *Biology and its makers*, 3^e éd., London 1915; Id., *The growth of biology*, London, 1925; J. SCHAXEL, *Grundzüge der Theorienbildung in der Biologie*, 2^e éd., Jéna, 1922; E. NORDENSKIÖLD, *The history of biology*, New York, 1928; L. ANBAR, *La biologie*, Paris, 1930; E. B. ALMQUIST, *Grosse Biologen*, München, 1931; F. BOURLÈRE, *Éléments d'un guide bibliographique du naturaliste*, Paris, 1939; J. ROSTAND, *Esquisses d'une histoire de la biologie*, Paris, 1945; Id., *Les grands courants de la biologie*, Paris,

- 1951; ID., *Ans sources de la biologie*, Paris, 1950; M. NOWIKOFF, *Grundsätze der Geschichte der biologischen Theorien*, München, 1949; A. MEYER-ABICH, *Biologie der Gesehzt*, Stuttgart, 1949; B. DAWES, *A hundred years of biology*, London, 1952; A. Century of progress in the natural sciences, 1853-1953, Calif. Ac. of Sci., San Francisco, 1955; F. S. BODENHEIMER, *The history of biology*, London, 1958; Ch. SINGER, *A history of biology*, 3^e éd., London, 1959; W. ENGELMANN, *Bibliotheca historico-naturalis*; t. I, Leipzig, 1861 (t. II et III, 1923).
- علم الخلايا - علم الأنسجة - M. KLEIN, *Histoire des origines de la théorie cellulaire*, Paris, 1936; ID., *Sur les débuts de la théorie cellulaire en France (Thalès, 1949-1950)*; L. ASCHOFF, E. KISTER et W. J. SCHMIDT, *Hundert Jahre Zelforschung*, Berlin, 1938; J. R. BAKER, *The cell-theory, a restatement, history and critique* (Quart. Journ. microsc. Soc., t. 89-94, 1948-1953); A. HUGHES, *History of cytology*, London, 1959. Monographies sur Schwann (M. FLOKIN, Paris, 1960); Purkyně (B. NEMEC, O. MATOUZEK, Prague, 1955; H. J. JOHN, Philadelphie, 1959).
- علم الحيوان - T. S. HALL, *A source book in animal biology*, New York, 1951; V. CARUS et W. ENGELMANN, *Bibliotheca zoologica*, Leipzig, 1887-1923; H. MILNE-EDWARDS, *Rapport sur les progrès récents de la zoologie en France*, Paris, 1867; J. V. CARUS, *Histoire de la zoologie*, trad. fr., Paris, 1880; R. BURKHARDT et H. ERHARD, *Geschichte der Zoologie*, 2 vol., Leipzig, 1921; H. DAUDIN, *De Linné à Lamarck. Méthode de la classification et idées de série en botanique et en zoologie (1740-1790)*, Paris, 1926; F. J. COLE, *History of protozoology*, London, 1926; F. S. BODENHEIMER, *Materialien zur Geschichte der Entomologie*, 2 vol., Berlin, 1928-1929; E. O. ESSIG, *A history of entomology*, New York, 1931; ID., *Sketch history of entomology (Ostris, II, 1936)*; C. A. WOOD, *An introduction to the literature of vertebrate zoology*, London, 1931; J. ANKER, *Bird books and bird art*, Copenhagen, 1938; S. SITWELL, H. BUCHANAN, J. FISCHER, *Fine bird books, 1700-1900*, New York, 1953; M. BOUBIER, *L'évolution de l'ornithologie*, Paris, 1925; E. STREHMANN, *Die Entwicklung der Ornithologie*, Berlin, 1951; C. NISSEN, *Die illustrierten Vogelbücher...*, Stuttgart, 1953; K. SEMPER, *Animal Life*, New York, 1881; Ch. B. DAVENPORT, *Experimental morphology*, 2 vol., New York, 1897-1899; E. NEWTON HARVEY, *A history of luminiscence...*, Philadelphie, 1957; Sir W. A. HERDMAN, *Founders of oceanography...*, London, 1923; H. C. Brann's Klassen und Ordnungen der Tierreichs, Leipzig à partir de 1866. P.-P. GRASSE, 64., *Traité de zoologie*, Paris, à partir de 1948.
- علم النبات والبيولوجيا النباتية - G. A. PRITZEL, *Thesaurus literaturae botanicae nov.* éd., Leipzig, 1872-1877; B. D. JACKSON, *Guide to the literature of botany*, London, 1881; F. HOFFER, *Histoire de la botanique*, Paris, 1872; J. SACHS, *Histoire de la botanique*, trad. fr., Paris, 1882; J. R. GREEN, *History of botany, 1860-1900*, Oxford, 1909; R. J. HARVEY-GIBSON, *Outlines of the history of botany*, London, 1919; M. MOBIUS, *Geschichte der Botanik*, Iéna, 1937; H. S. REED, *A short history of the plant sciences*, Waltham, Mass., 1934; J. COSTANTIN, *Aperçu des progrès de la botanique depuis cent ans*, Paris, 1934; R. COMBES, *Histoire de la biologie végétale en France*, Paris, 1933; A. DAVY DE VIRVILLE, éd., *Histoire de la botanique en France*, Paris, 1954; F. W. OLIVER, *Makers of british botany*, Cambridge, 1913; F. O. BOWER, *Sixty years of botany in Britain (1875-1935)*, London, 1938; R. E. FRIES, *A short history of botany in Sweden*, Uppsala, 1950; F. VERDOORN, éd., *Plant and plant science in Latin America*, Waltham, Mass., 1945.
- E. L. CORE, *Plant taxonomy*, Prentice-Hall, 1935; Th. SCHNUCKER et G. LINNEMANN, *Geschichte der Anatomie des Holzes* (in H. FREUND, *Handbuch der Mikroskopie*, 1951); P. VUILLEMIN, *Les champignons*, Paris, 1912; J. F. LEROY, *Histoire de la notion de sexe chez les plantes*, Paris, 1960; R. P. WOODHOUSE, *Pollen grains*, New York, 1935; R. SOUCÈS, *L'embryologie végétale*, Paris, 1934; Ch. FLAHAULT, *Les progrès de la géographie botanique depuis 1884...* (*Progressus Rei Botanicae*, I, 1907, pp. 242-317). *Études sur Humboldt* (E. BANSE, Stuttgart, 1953; H. BECK, Berlin, 1959).
- علم البكتيريا - F. LOEFFLER, *Vorlesungen über die geschichtliche Entwicklung der Lehre von den Bacterien*, I, Leipzig, 1887; W. BULLOCK, *The history of bacteriology*, London, 1938; W. W. FORD, *Bacteriology*, New York, 1939; J. ROSTAND, *La genèse de la vie. Histoire des idées sur la génération spontanée*, Paris, 1943; *The Pasteur fermentation centennial, 1857-1957*, New York, 1958. *Études sur Bassi* (L. BELLONI, Milan, 1956); Koch (R. BOCHALLI, Stuttgart, 1954); Lister (R. J. GODLEE, London, 1918); Pasteur (E. DUCLAUX, Paris, 1896; R. J. DUBOS, London, 1951, trad. fr., Paris, 1955; J. NICOLLE, Paris, 1953).
- الفيزيولوجيا الحيوانية - J. F. FULTON, *Selected readings in the history of physiology*, Springfield, 1950; H. MORUTTAU, *Geschichte der Physiologie* (in Th. POSCHMANN, *Handbuch der Geschichte der Medizin*, t. II, Iéna, 1903); K. J. FRANKLIN, *Short history of physiology*, London, 1949;

K. E. ROTHSCHUH, *Geschichte der Physiologie*, Berlin-Heidelberg, 1953 ; CL. BERNARD, *Rapport sur les progrès et la marche de la physiologie générale en France*, Paris, 1867 ; CH. M. C. BROOKS et P. F. CRANFELD, éd., *The historical development of physiological thought*, New York, 1959 ; E. BASTROLM, *History of muscle physiology*, Copenhagen, 1950 ; J. F. FULTON, *Physiologie des lobes frontaux et du cervelet*, tr. fr., chap. I et VIII, Paris, 1953 ; F. N. L. POYNTER, éd., *The history and philosophy of knowledge of the brain and its functions*, Springfield, 1958 ; F. FEABING, *Reflex action. A study in the history of physiological psychology*, Baltimore, 1930 ; E. C. T. LIDDELL, *The discovery of reflexes*, Oxford, 1960 ; H. D. ROLLESTON, *The endocrine organs in health and disease, with an historical review*, Oxford, 1936 ; G. CANGUILHEM, *Pathologie et physiologie de la thyroïde au XIX^e siècle* (Thalès, t. IX, Paris, 1959). Monographies sur Magendie (J. M. D. OLMSTED, New York, 1944) ; Claude Bernard (L. DELHOUME, Paris, 1939 ; R. MILLET, Paris, 1945 ; J. M. D. OLMSTED, New York, 1949) ; Carl Ludwig (G. ROSEN, *Bull. Inst. Hist. Med.*, 4, 1936).

علم التشريح المقارن وإحاطة الفقريات — P. FLOURENS, *Analyse raisonnée des travaux de Georges Cuvier*, Paris, 1841 ; ID., *De l'unité de composition et du débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire*, Paris, 1865 ; I. GEOFFROY SAINT-HILAIRE, *Vie, travaux et doctrine scientifique d'Etienne Geoffroy Saint-Hilaire*, Paris, 1847 ; L. VIALLETON, *Un problème de l'évolution. La théorie de la recapitulation des formes ancestrales au cours du développement embryonnaire*, Paris, 1908 ; H. F. OSBORN, *The age of Mammals*, New York, 1910 ; E. S. RUSSELL, *Form and function. A contribution to the history of animal morphology*, London, 1916 ; H. DAUDIN, *Cuvier et Lamarck. Les classes zoologiques et l'idée de série animale (1720-1830)*, 2 vol., Paris, 1926 ; R. BERTHELOT, *Lamarck et Goethe : l'évolutionnisme de la continuité au début du XIX^e siècle* (Rev. Méta. et Mor., 36, 1929) ; J. VIÉNOT, *Cuvier*, Paris, 1932 ; F. J. COLE, *A history of comparative anatomy from Aristotle to the eighteenth century*, London, 1944 ; G. G. SIMPSON, *Tempo and mode in evolution*, New York, 1944 ; J. PIVETEAU, *Le débat entre Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire sur l'unité de plan et de composition* (Rev. Hist. Sci., 3, 1950) ; P. de SAINT-SEINE, *Les fossiles au rendez-vous du calcul* (Cong. int. Philos. Sci., VII, Paris, 1951) ; F. MEYER, *Problématique de l'évolution*, Paris, 1957.

التوالد الحيواني — F. J. COLE, *Early theory of sexual generation*, Oxford, 1930 ; J. ROSTAND ; *La formation de l'être, histoire des idées sur la génération*, Paris, 1930 ; ID., *La parthénogenèse animale*, Paris, 1950 ; A. N. MEYER, *The rise of embryology*, Stanford, 1939 ; A. N. MEYER, *Human gene, ration...*, Stanford, 1956 ; J. NEEDHAM, *A history of embryology*, 2^e éd., Cambridge 1959.

الارتقاء — E. O. SCHMIDT, *The doctrine of descent and darwinism*, London, 1875 ; A. de QUATREFAGES, *Darwin et ses précurseurs français*, 2^e éd., Paris, 1892 ; ID., *Les émules de Darwin*, Paris, 1894 ; E. PERRIER, *La philosophie zoologique avant Darwin*, 3^e éd., Paris, 1896 ; E. CLODD, *Pioneers of evolution*, London, 1897 ; G. FENIZIA, *Storia della evoluzione*, Milan, 1901 ; H. PEMBERTON, *The path of evolution*, Philadelphie, 1902 ; Y. DELACE, *L'hérédité et les grands problèmes de la biologie générale*, 2^e éd., Paris, 1903 ; H. F. OSBORN, *From the Greeks to Darwin*, 2^e éd., New York, 1929 ; J. ROSTAND, *L'évolution des espèces*, Paris, 1932 ; ID., *L'atomisme en biologie*, Paris, 1956 ; C. ZIRKLE, *Natural selection before the « Origin of species »*, Philadelphie, 1941 ; *Early history of the idea of inheritance of acquired characters and of pangenesis*, Philadelphie, 1946 ; P. OSTOYA, *Histoire des théories de l'évolution*, Paris, 1951 ; G. SCHNEIDER, *Die Evolutions-theorie...*, Berlin, 1951 ; P. G. FOTHEBELL, *Historical aspect of organic evolution*, London, 1952 ; W. ZIMMERMANN, *Evolution. Die Geschichte ihrer Probleme und Erkenntnisse*, München, 1953 ; C. S. CARTER, *A hundred years of evolution*, London, 1957 ; L. EISELEY, *Darwin's century*, New York, 1958 ; H. G. CANNON, *The evolution of living things*, Manchester, 1958 ; S. A. BARNETT, éd., *A century of Darwin*, London, 1958 ; G. HIMMELFARB, *Darwin and the darwinian evolution*, New York, 1959 ; B. GLASS, O. TEMKIN, W. L. STRAUS, éd., *Forerunners of Darwin. 1745-1859*, Baltimore, 1959 ; F. C. HABER, *The age of the world. Moses to Darwin*, Baltimore, 1959 ; Lamarck et Darwin (Revue d'Histoire des sciences, 13, 1, 1960). Monographies sur Lamarck (M. LANDRIEU, Paris, 1908 ; E. PERRIER, Paris, 1925) ; Darwin (M. PRENANT, Paris, 1947 ; J. ROSTAND, Paris, 1947 ; J. HUXLEY et J. FISHER, New York, 1939 ; R. MOORE, London, 1957).

علم الوراثة — H. F. ROBERTS, *Plant hybridization before Mendel*, Princeton, 1929 ; C. ZIRKLE, *The beginnings of plant hybridization*, Philadelphie, 1935 ; ID., *The knowledge of heredity before 1900* (in L. C. DUNN, éd., *Genetics in the 20th Century*, New York, 1951). Monographies sur Mendel (H. ILTIS, Berlin, 1924 ; I. KNUMBRIEGEL, Stuttgart, 1957).

قبل التاريخ البشري — C. et A. MORTILLET, *La préhistoire*, Paris, 1903 ; A. CHEYNIER, *Jouanet...*, Brive, 1936 ; L. AUFRÈRE, *Essai sur les premières découvertes de Boucher de Perthes...*

Paris, 1939; W. E. MUEHLMANN, *Geschichte der Anthropologie*, Bonn, 1948; A. C. HADDON, *History of anthropology*, London, 1949; C. E. DANIEL, *A hundred years of archaeology*, London, 1950; COLIN-SIMARD, *Découverte archéologique de la France*, Paris, 1955; M. BOULE et H. V. VALLOIS, *Les hommes fossiles*, 4^e éd., Paris, 1952; R. FUBON, *Manuel de préhistoire générale*, 4^e éd., Paris, 1958.

الطب — L. CLENDENING, *Source book in medical history*, New York, 1942; E. BRODMAN, *The development of medical bibliography*, Baltimore, 1954; L. T. MORTON, *Garrison and Morton's medical bibliography*, 2^e éd., London, 1954.

K. SPRENGEL, *Histoire pragmatique de la médecine*, trad. fr., 2 vol., Paris, 1809; Ch. V. DAREMBERG, *Histoire des sciences médicales*, 2 vol., Paris, 1870; E. BOUCHUT, *Histoire de la médecine*, 2 vol., Paris, 1873; M. NEUBURGER, éd., *Handbuch der Geschichte der Medizin*, 3 vol., Iéna, 1901-1905; L. MEUNIER, *Histoire de la médecine*, Paris, 1911; A. H. BUCK, *The dawn of modern medicine*, New Haven, 1920; Th. MEYER-STEINER et K. SUDHOFF, *Geschichte der Medizin*, 3^e éd., Iéna, 1928; F. H. GARRISON, *Introduction to the history of medicine*, 4^e éd., Philadelphie, 1929; R. DUMESNIL, *Histoire illustrée de la médecine*, Paris, 1935; M. LAIGNEZ-LAVASTINE, éd., *Histoire générale de la médecine*, 3 vol., Paris, 1936-1949; W. E. B. LLOYD, *A hundred years of medicine*, London, 1936; D. CUTHRIE, *A history of medicine*, London, 1945; A. CASTIGLIONI, *Storia della medicina*, nouv. éd., 2 vol., Vérone, 1947 (trad. fr., Paris, 1931); A. PAZZINI, *Storia della medicina*, 2 vol., Milan, 1947; C. C. METTLER, *History of medicine*, Philadelphie, 1947; R. H. SHRYOCK, *The development of modern medicine*, New York, 1947 (trad. fr., Paris, 1956); W. ANFELT, *Einführung in die Medizinhistorik*, Stuttgart, 1949; P. DIEFGEN, *Geschichte der Medizin*, 2 vol. en 3 t., Berlin, 1949-1955; E. MAY, *La médecine*, Paris, 1954; R. H. MAJOR, *A history of medicine*, 2 vol., Springfield, 1954; P. LAIN-ENTRATGO, *Historia de la medicina*, Barcelone, 1954; E. H. ACKERKNECHT, *A short history of medicine*, New York, 1955; W. LEIBBRAND, *Die spekulative Medizin der Romantik*, Hamburg, 1956; P. ASTRUC, *La médecine au XIX^e siècle (Le progrès médical, 1957-1958)*.

A. HIRSCH, *Biographisches Lexikon der hervorragenden Aerzte*, 6 vol., Vienne, 1884-1888 (nouv. éd., 6 vol., Berlin, 1929-1935); J. L. PAGEL, *Biographisches Lexikon hervorragender Aerzte des neunzehnten Jahrhunderts*, Berlin, 1900; *Biographies médicales*, Paris, 1927-1933; H. E. SICERIST, *Grosse Aerzte*, Leipzig, 1936; R. DUMESNIL, éd., *Les médecins célèbres*, Paris, 1947.

S. W. MITCHELL, *The early history of instrumental precision in medicine*, New Haven, 1892; Ch. ACHARD, *Nouveaux procédés d'exploration*, Paris, 1903; H. COCHET, *Die Röntgen Literatur*, 2 vol., Stuttgart, 1911-1912; O. GLASSER éd., *The sciences of radiology*, Springfield, 1933; J. ROCHARD, *Histoire de la chirurgie*, Paris, 1875; P. LECÈNE, *Histoire de la chirurgie*, Paris, 1923; R. A. LEONARDO, *History of surgery*, New York, 1943; Th. E. KEYS, *The history of surgical anesthesia*, New York, 1945; C. E. WINSLOW, *The conquest of epidemic diseases*, Princeton, 1943; W. E. HAYMAKER, *The founders of neurology*, Springfield, 1953; E. H. ACKERKNECHT, *Kursus Geschichte der Psychiatrie*, Stuttgart, 1957; J. B. HERRICK, *A short history of cardiology*, Springfield, 1942; W. A. PUSEY, *The history of dermatology*, Springfield, 1933; R. A. LEONARDO, *History of gynecology*, New York, 1944; M. BOUVET, *Histoire de la pharmacie en France*, Paris, 1937; P. BOUSSET, *Histoire illustrée de la pharmacie*, Paris, 1947; E. KREMER et C. URDANG, *History of pharmacy*, 2^e éd., Philadelphie, 1951; H. DELAUNAY, *L'hygiène publique à travers les âges*, Paris, 1906; G. ROSEN, *A history of public health*, New York, 1958; A. NEWSHOLME, *The evolution of preventive medicine*, 2 vol., Baltimore, 1927-1929; R. SAND, *Vers la médecine sociale*, Liège, 1948.

القسم السادس

الحياة العلمية

إن الوصف الذي أعطيناه للتقدم العلمي الأكثر بروزاً والمتحقق عبر القرن التاسع عشر ، قد ألقى ضوءاً على الدور المهيمن الذي قامت به أوروبا الغربية بخلال هذه الحقبة من وضع أسس علمنا المعاصر . إن هذا التفوق الغربي ، الأكثر حلاوة مما كان عليه في القرون السابقة ، ينبع أساساً من سبق المهم الذي أحرزته الأمم الأوروبية ، في مجال التعليم والبحث العلمي ، ومن التفوق الأكيد في المجال السياسي والإقتصادي الذي حققته أوروبا بخلال هذه الحقبة . لقد ذكر العديد من مظاهر الحياة العلمية الغربية في الأقسام الأولى من هذا المجلد ، والفصل الموجز الذي نخصه لها فيما يلي يضع هذه العناصر المختلفة في إطار أعم ، مما يتيح بالتالي تمييز العوامل المتنوعة التي أثرت ، باتجاهات مختلفة ، في مسار التقدم .

ولكن إلى جانب الدول الغربية الكبرى ، حيث كانت - عبر أبعاد متنوعة - وثيرة التقدم تسير متسارعة بدون توقف ، رأى القرن التاسع عشر ولادة وتطور بؤر جديدة للثقافة والبحث العلمي ، سوف تتجاوز حيوتها ، بخلال القرن العشرين في كثير من المجالات ، حيوية الدول القديمة ، في أوروبا الغربية . والمثالان الأكثر بروزاً ، هما روسيا والولايات المتحدة الأميركية ، وسوف يكونان موضوع دراستين قصيرتين مخصصتين أساساً لرسم المراحل الكبرى لهذا التطور ثم توضيح عناصره الأساسية .

إن الفصل التالي يذكر التدهور التدريجي للحياة العلمية في الدول الإسلامية ، بعد حقبة العظمة التي عرفتها بخلال القرن التاسع حتى القرن الثالث عشر . والنهضة التي انطلقت بخلال القرن التاسع عشر ، على أثر الإنصال العلمي بأوروبا سوف يذكر في المجلد اللاحق ، بذات الوقت مع الجهد الحاسم من أجل التجديد في القرن العشرين .

لقد رأينا في المجلد السابق أنه ، منذ القرن السابع عشر والقرن الثامن عشر ، دخلت بعض

عناصر العلم الغربي الى الصين وإلى اليابان ، إنما دون أن تتمكن من الترسخ فيها بثبات .

إن الفصل المخصص لتاريخ العلوم في هذين البلدين في القرن التاسع عشر سوف يدلنا على أن تطور الظروف السياسية ، قد أتاح انتشاراً أقوى وأوسع بكثير للعلم الحديث .

والحدث جلي بشكل خاص بالنسبة الى اليابان ، التي - منذ نهاية هذه الحقبة - أصبحت مركزاً مشعاً للعلم الناشط . لقد خضعت ، بأن واحد ، لتأثير أكبر حضارتين في آسيا الهندية والصينية ، وابتداء من القرن السابع عشر - وبشكل عارض واستطراذي - لتأثير العلم الغربي ، وعرفت فيتنام حياة علمية أصيلة ، بدت لنا ظروفها الخاصة وكأنها تؤهلها لدراسة قصيرة . إن التحولات الأساسية المحاصلة خلال الحقبة الاستعمارية سوف تعرض في المجلد التالي . ان الحياة العلمية في العديد من المناطق الأخرى ، خاصة في افند ، وأميركا اللاتينية ، سوف تذكر أيضاً في المجلد المذكور ، مع النشاط العلمي في هذه البلدان بخلال القرن العشرين .

والاستنتاج الأكثر بروزاً الذي يرشح من هذه الدراسات المختلفة هو أنه ، منذ القرن التاسع عشر ، نشر العلم الغربي الحديث سيطرته ، بصورة متصاعدة ، على كل البلدان ذات الحصاراة المتطورة نوعاً ما ، ان هذا الحدث سوف يتأكد ، بشكل بارز واضح ، في القرن العشرين ، متحكماً الى حد بعيد بنهضة البشرية بالذات .

الفصل الأول

ظروف التقدم العلمي في أوروبا الغربية

إن تحليلاً موسوعياً ومفصلاً للظروف وللأسباب العميقة لتفوق العلم الغربي ، بخلال القرن التاسع عشر ، هو من الأكثر إعادة ومثل هذا التحليل ، وإن هم سأن واحد - ولأسباب مكملّة نوعاً ما - المتخصص بالتاريخ العام ، والمؤرخ للعلوم ، يقدم ، فعلاً ، عناصر مهمة للإعلام وللتفكير للمسؤولين عن السياسة العلمية من مختلف الأمم . وللأسف بقيت الجهود في هذا السيل نادرة وتدلّ غالبيتها على عدم دقة كافية علمياً ، إذ أنها موسومة باهم الواضح الذي هو التأكيد على الأفكار المسبقة في أدهان مؤلفيها . ولا يمكن إلا أن نأسف لأن الأداة المفضة للتفاهم الدولي التي يجب أن يكونها تاريخ العلم تتحول أحياناً ، احتقاراً للموضوعية التاريخية ، الى حفل مغلق ، تتجابه فيه الأهواء القومية .

بالتأكيد ، لقد مضى الوقت الذي كان فيه البعض باصرون أطروحة التفوق الجذري للأمم الغربية ، في مجال العلم وحيث كانت الحروب ماسة لناظرات معيبة بين علماء الأمم المتحاربة . ولكننا ما نزال بحاجة الى بذل جهد مهم في مجال التعاون الدولي ، من أجل التوصل الى موضوعية أكبر في إعادة تكوين وفي تقييم المراحل المتتالية لتطور الأفكار . ولكن من المؤكد على كل حال أن تعقيد الأحداث العلمية والعوامل ذات المناشئ المتنوعة التي أثرت في خلقها وتكوينها أو مسارها يبيّن دائماً المجال حراً لتأويلات متنافرة ، وإن الحدث الفردي هي الاكتشاف لن يكشف أبداً عن سره .

هذه الملاحظات لا تهدف إلا إلى التذكير بالحذر الأقصى المتوجب الالتزام به في دراسات من هذا النمط ، هذا إذا لم تشأ هذه الدراسات أن تبقى مجرد ابصاحات لأطروحة « مسبقه » . ان عرضنا ، السريع جداً ، يقتصر على ملاحظات عامة وعلى بعض الإشارات الموجرة عن الوضع الخاص للبلدان الرئيسية .

١ - أطر الجهد المشترك

نعو سياسة للعلم .- ان الحدث الاساسي الذي وجه تطور العلم بخلاف القرن التاسع عشر ، هو أن النشاط العلمي قد أصبح - بشكل واضح باستمرار - ظاهرة اجتماعية تثير بانعكاساتها المتنوعة ، اهتمام المسؤولين الأكثر بعد نظر . إن النتائج الأكيدة ، على الصعيد الصناعي ، للتقدم المحقق في مختلف قطاعات العلوم الفيزيائية ، والتأثير الواضح باستمرار للاكتشافات البيولوجية على الطب وتطوره ، ليسا الا مظهرين من المظاهر الأكثر بروزا لهذا التأثير المتنامي للتقدم العلمي على شروط حياة البشرية . والتحقق من هذه الوقائع يجب أن يحمل الحكومات ، والإدارات الكبرى والمشاريع الصناعية الأكثر أهمية ، على وضع « سياسة علمية » حقة .

والفكرة لم تكن جديدة حقاً ، وإنشاء الأكاديميات الوطنية الأولى ، والمراسد الأولى الكبرى في القرن السابع عشر دل على وعي متزايد للأهمية الاجتماعية للعلم . في عصر الأنوار قوي هذا التيار ، وفي حين أخذ جهنور متزايد يتم بإنجازات العلم المشهودة ، كان الاستبداد المستنير ينمي نشاط الأكاديميات ، مع اطلاقه بحذر توسيع التعليم العالي والتقني . ورغم الموقف الواضح جداً الذي قام به الموسويون بهذا الشأن ، فإنه في أواخر القرن الثامن عشر فقط أخذ التفاعل بين التقدم العلمي والنهضة التقنية يتجلى بشكل أكيد . ووعت « الثورة الفرنسية » والحكومة الامبراطورية هذا الأمر ، ولهذا بذلتا جهوداً واسعة من أجل تحديث التعليم العلمي والتقني ، وشجعنا بقوة بعض البحوث ذات المآل المفيد . ومثل هذه الإصلاحات بدت لازمة بفعل الاتساع الدائم لحقل العلم وبفضل الأهمية المتزايدة التي ارتدتها الطرق التحريية . إن مسألة اصلاح التعليم العلمي وأجهزة البحث قد بقيت ، منذ ذلك الحين ، تتجدد بدون توقف ، ذلك أن إعادة التنظيم الأكثر إتقاناً تعنت بسرعة وتسببها وتيرة التقدم المتسارع .

إن الإصلاحات التي قامت بها « الثورة الفرنسية » ، واعتمدها ، بأشكال متنوعة ، مختلف البلدان الأوروبية ، قد أتاحت ، بفضل دقراطية (تعميم) التربية الأساسية على القاعدة ، ثم اعتماد تعليم علمي حديث ، تكوين رجال علم أكثر عدداً ، وتقنيين مطلعين على الاكتشافات الأكثر حداثة . ولكن التقدم لم يكن ليتسارع حقاً إلا إذا استطاع الباحثون المميزون تكريس جل نشاطهم لأعمالهم . في النصف الأول من القرن ، أتاحت زيادة عدد منابر التعليم العالي ، القيام بجدارة بهذا المطلب ، وبشكل غير مباشر إذ اطلق ظهور المختبرات الأولى المستقلة ، في آخر القرن ، حركة احتراف أكثر كمالاً لمهنة الباحث .

وأضيف الى هذا الجهد على الصعيد البشري جهد مقابل في التجهيز . واقتضت التقنية المتزايدة في البحوث ، والكمال المستمر في مناهج الاستقصاء ، نشر العديد من المجلات المتخصصة ومن المراجع البيبلوغرافية المفصلة ، وبناء شبكة من المراسد الحسنة التجهيز ، وإقامة مختبرات مزودة بتجهيز هو الأحداث . وإذا كانت رعاية الأغنياء من محبي الثقافة قد استمرت تلعب دوراً مهماً في بعض البلدان - خاصة في بريطانيا - إلا أن ضخامة الجهد الواجب كانت من الأهمية بحيث اقتضت تقديم مساعدة مالية من الحكومات بشكل متزايد .

هذه السيطرة المتزايدة والمحتمة للسلطة العامة على التعليم وغل البحث العلمي لم تكن تخلو من بعض المخاطر . ففي توشك أن تحجر العلم بشكل خاص الى مياسة قصيرة النظر ، موجهة بشكل أساسي نحو البحوث المدرة أرباً ، أو أن تمنع بعض الأعمال المعتبرة خارجة على الاعراف . والواقع أنه بخلال القرن التاسع عشر لم تحذ الشروط الجديدة المفروضة على نشاط العلماء من حريتهم الحقة . وعلى كل فقد زود التنظيم الرسمي للتعليم وللبحث بعض رجال العلم بسلطة إدارية واسعة جداً الأمر الذي أتاح لهم أحياناً توجيه مجمل الأعمال ، في قطاعات متنوعة توجيهاً جامداً ، وأحياناً وصل الأمر الى إلقاء الحظر على نظريات تخالف رأيهم الشخصي . والمصاعب التي اعترضت عظميين من علماء الكيمياء الفرنسيين ، لورانت وجيرهاردت ، في مواجهة عداء ج. ب. دوماس القوي ، وكذلك مثل م. برتيلوت الذي استطاع في الربع الأخير من القرن ، أن يخنق الأعمال المؤيدة للنظرية الذرية ، هذان المثالان يعتبران نموذجين لهذا الشأن .

تأييد الرأي العام .- كان الرأي العام ، مثل القادة السياسيين قد رأى-منذ القرن الثامن عشر الإمكانات المشروحة بفضل التقدم المستمر للعلم . وكان هذا الوعي أحد العوامل المسيطرة التي ساعدت على الإصلاحات التي قامت بها الثورة الفرنسية . في القرن التاسع عشر استمر العديد من الجمعيات الثقافية ومن المحلات ومن كتب تبسيط العلم ، في تغذية اهتمام الرأي العام بالمسائل العلمية ، وفي تبيين أهمية التقدم التقني الناشئ ، في بعض الاكتشافات الحديثة . إن الثورة الصناعية ، وتطور وسائل نقل جديدة ، والتوسع السريع في الاستفادة العملية من الكهرباء ، والنهضة السريعة في الكيمياء الصناعية ، وكشف الموارد الطبيعية والانجازات في الطب ، كل ذلك قوى الأمل برؤية التقدم العلمي ، في أساس التحسين العام لظروف معيشة البشرية . إن البرجوازية الصناعية ، في أوج ازدهارها لم تكن دائماً هي طليعة هذا التيار ، ولكن تمثلها الأكثر وضوح رؤية فهموا أن التقدم التقني مرتبط بعد الآن إرتباطاً وثيقاً بتقدم العلم ، ان صوابية هذه الرؤى أثبتتها الانتشار المدهش¹¹ للكيمياء الألمانية في النصف الثاني من القرن ، وذلك على أثر إقامة مختبرات قوية للبحث التطبيقي .

في مختلف البلدان ، فهم العلماء الأكثر ثقافة بالأهمية الاجتماعية لنشاطهم ان الجهد الواسع في تعميم الانجازات العلمية الحديثة ، ينتج انارة الرأي العام حول أهمية أعمال البحوث ، وبالتالي الحصول على دعم ثمين يفيدهم في نضالهم من أجل سياسة مساعدة وناشطة من أجل العلم . وكثر عدد أولئك الذين قدموا العون الناشط لمؤسسات ثقافية أو لتنظيمات تنشر العلم . ومن أبرز هذه المؤسسات ، « المؤسسة الملكية في لندن » التي أسسها رامفورد سنة 1799 لغايات حريية ، فتحولت سريعاً ، وبأن واحد الى مختبر للمحوت والى مركز للمحاضرات العامة ، وكان لها تأثير عميق بفضل المكانة والاخلاص اللذين يتمتع بهما المحركان الأولان دافي وفراداي .

أثر الجمعيات العلمية .- تم هذا التأثير الذي مارسه العلماء على الرأي العام أيضاً بواسطة الجمعيات العديدة التي أنشئت بخلال القرن التاسع عشر من أجل تقوية التعاون بين الاختصاصيين في نفس الحقل ومن أجل تسهيل نشر الأعمال الأصلية ومن أجل تأمين انتشار واسع للاكتشافات

الجديدة . ضمت هذه الجمعيات في أغلب الأحيان علماء محترفين وهواة ، فعرفت نجاحاً خاصاً في مجالات الفلك والجيولوجيا وعلوم الطبيعة وساهمت في مجهود الدعاية لصالح سياسة رسمية تساعد العلم ، وكانت الاتحادات الوطنية من أجل تقدم العلوم أكثر فعالية بهذا الشأن . وكانت الغاية الأساسية لهذه الجمعيات ان تقارن ، أثناء المناقشات العامة الواسعة بين الانجازات الأكثر حداثة في مختلف المجالات العلمية ، من أجل إبراز تداخلاتها المتبادلة ، ومن أجل استخلاص معلومات مفيدة حول توجيه البحوث . والمثل المعطى في هذا السبيل ، منذ 1815 ، من قبل الجمعية السويسرية للعلوم الطبيعية » تبعه ، بعد 1822 تأسيس جمعية عمالة المانية قام به العالم الألماني الطبيعي لورانس أوكس ، الذي كان ليبرالياً نشيطاً وفيلسوفاً متحمساً للطبيعة . وكانت الاجتماعات التي تعقدها كل سنة في مدينة مختلفة ، قد لاقت نجاحاً باهراً . وكان وقع هذه الاجتماعات لدى الرأي العام أحد العوامل الأساسية في النهضة العلمية الألمانية الكبرى .

أما « الجمعية البريطانية لتقدم العلم » فقد تأسست سنة 1831 ، بناءً على مبادرة من العديد من العلماء الذين اعجبوا كثيراً بفاعلية « الاتحاد الألماني » ، وتصدت بنشاط لأهم النواقص في التنظيم العلمي البريطاني . واهتمت هذه الجمعية بإقامة المناظرات الحماسية ، حول المسائل الكبرى المطروحة ، واستطاعت أن تلفت إلى الاهتمام بعملها انتباه ممثلي الطبقات الحاكمة والأوساط الصناعية ، واحتلت هذه الجمعية مكانة مسيطرة في الحياة العلمية البريطانية في القرن التاسع عشر . وعلى المدى البعيد كان تأثيرها خصباً جداً ، وأدى إلى العصرية التدريجية للمؤسسات العلمية في المملكة المتحدة .

التعاون الدولي . - إلا أن الوتيرة السريعة للتقدم أوشكت أن تؤدي إلى نقص في التنسيق بين التخصصين في ذات المجال من مختلف البلدان . وإذا كان العلم الغربي لم يعرف ، بخلاف القرن الثامن عشر ومطلع القرن التاسع عشر إلا القليل من الحدود ، إلا أن الوضع قد تطور بسرعة على أثر تصلب الحركات القومية ، وعلى أثر العدد المتزايد من النشرات ومن جراء استبدال اللغة اللاتينية واللغة الفرنسية وهما لغتا أوروبا العلمية في القرن الثامن عشر بمختلف اللغات القومية . ومن أجل إقامة تعاون دولي ضروري في المجال العلمي بدت الحاجة ملحة إلى مبادرات جديدة وأدى نجاح المقابلات الدولية : المؤتمرات التي عقدت أثناء بعض اجتماعات الجمعية الألمانية ، إلى حفز الاحصائي البلجيكي آ . كيتلت على إقامة اجتماعات مماثلة مخصصة للإختصاصين في نفس المجال العلمي . ومثل المؤتمرات الدولية للإحصاء التي نظمها كيتلت ابتداءً من 1853 - عقد أول مؤتمر في بروكسل ، والثامن في سان بطرس برغ 1872 - اتبع بسرعة في محالات أخرى مثل الكيمياء (كارلسروه ، 1860) علم النبات (بروكسل 1864) ، الطب (باريس 1867) ، إلخ . ففتح عهد جديد في تاريخ العلاقات الدولية العلمية وعلى هذا الأساس عقد في باريس سنة 1900 ما يقارب من خمسة عشر مؤتمراً بمناسبة المعرض الكبير .

وهناك تعاون مماثل برز في مجال المشاريع المتنوعة الأكثر اختصاصاً : مثل تحديد عناصر المناظيرية الأرضية ، إنجاز النظام المترى من قبل اللجنة الدولية المترية (1869 ، 1870 ، 1872) ومن قبل اللجنة الدولية للأوزان والمكاييل (ابتداءً من سنة 1875) ثم وضع الخارطة الفوتوغرافية

للساء (ابتداء من سنة 1889) . وقامت عدة لجائن دولية ، في حين عملت الأكاديميات الرئيسية سنة 1900 على تأسيس الإتحاد الدولي للأكاديميات . وبذات الوقت بدأت لجنة دولية ترعاها الجمعية الملكية البريطانية بنشر بيبليوغرافيا سنوية لمحصل النشرات العلمية اسمها : « الكتالوغ الدولي للأدب العلمي » وهو مشروع ضخم أوقفته مع الأسف الحرب العالمية الأولى . وهكذا ، في أواخر القرن التاسع عشر اسطلق التنظيم الدولي للعلم مما أتاح انتشاراً أكبر للمنشورات المتكاثرة باستمرار وأتاح تعاوناً أقوى بين العلماء في قسم كبير من العالم .

II - الوضع في مختلف الدول

من أجل انتهاء هذا العرض السريع للشروط العامة للحياة العلمية في أوروبا الغربية بحلول القرن التاسع عشر ، سوف يقدم بشكل مختصر السمات الخاصة لتطور هذه الظروف في مختلف البلدان ، مع التأكيد بشكل خاص على ثلاثة أمثلة نموذجية هي فرنسا وألمانيا وبريطانيا .

فرنسا . - اد اصلاح التنظيم العلمي الفرنسي من قبل الثورة الفرنسية - وان كانت سقته بعدة سنوات - يفتح حقاً القرن التاسع عشر العلمي واضعاً الأطر الجديدة للتقدم .

وهذا الاصلاح ، وان كان أقل إقداماً وأقل إتساعاً مما أرادته له منشوئه ، إلا أنه زود فرنسا بنظام تربوي ملائم للوضع الاجتماعي في تلك الحقبة ، وللحالة الأحدث في مجال العلم ، انه نظام قَلْبُذ ، فيها بعد ، تحت أشكال متنوعة وفي العديد من البلدان . لقد استلهم هذا الاصلاح بأن واحد رغبة « الفلاسفة » اعطاء مكانة أوسع للعلوم وللتقنيات ، وهي أدوات تحرير وتقدم اجتماعي ، تدل على التوق العام نحو تعليم متاح للجميع . فضلاً عن ذلك بينت « الثورة » ، باسنادها مسؤوليات مهمة الى بعض رجال العلم الدور العظيم الذي يجب أن يلعبه العلماء والتقنيون في دولة عصرية ، وهي بذلك وضعت أسس تنظيم البحث التطبيقي .

في حين كانت كليات الطام القديم الفرنسي تجاهل العلم ، أصبحت المدارس المركزية الجديدة تقدم تعليماً أولياً للرياضيات والعلوم الفيزيائية والطبيعية ، وأنشئت أو عَصِرت مؤسسات تعليمية عدة تقدم تعليماً عالياً وتقنياً ذا قيمة كبيرة . من هذه المؤسسات : مدرسة بوليتكنيك ، ومدارس متنوعة تقنية أو عسكرية ، ومدارس للصحة العامة ، والكوليج دو فرانس ، والمتحف الوطني للتاريخ الطبيعي ، الخ . ووردت هذه المؤسسات المختلفة بجهاز تعليمي من المرتبة الأولى يضم العلماء الأعظم في ذلك العصر . وكانت البرامج قد وضعت تبعاً للتطورات الأكثر حداثة في مجال العلم ، وكانت بتجهيزاتها تتيح بأن واحد تنشئة نظرية وعملية للطلاب ، كما تتيح متابعة أعمال البحث . وحين جعلت الثورة الفرنسية ، المستشفى مركز الدراسات الطبية ، فلها تحت مرحلة جديدة في تاريخ الطب . إن إنشاء المختبرات للتعليم وللبحوث ، في مدرسة بوليتكنيك [أي مدرسة التقنيات المتعددة (المترجم)] كان تجديدًا مشهوداً له اهم العمليات الاصلاحية اللاحقة ؛ وتحت إدارة برتوليت وغاي - لوساك ، وتينارد شكل مختبر الكيمياء في هذه المدرسة مركزاً ناشطاً جداً استقبل العديد من الكيميائيين الأجانب . وبقيت أكاديمية العلوم ، بعد إعادة تنظيمها سنة 1795 ، بأن واحد المركز

المشرف للعلم الفرنسي ، يقدم تأييداً ثميناً للأعمال الأصيلة ، وجهازاً رسمياً يقدم المشورة للسلطات العامة حول مختلف المسائل التقنية والعلمية . إن أهمية دورها ، قد توضع عند وضع النظام المثري ، بمبادرة من الثورة الفرنسية ، وهي مبادرة نالت عبر القرن موافقة العديد من البلدان .

إلا أن نابليون في محاولته تثبيت قسم من هذه المؤسسات ، ومع إظهاره الود غير المنكور للعلماء ، خرب جزئياً هذا الجهد نتيجة المركزية الشديدة ، وبسبب سياسته « الإيجابية » التي ضحّت جزئياً بالبحث النظري . إن إنشاء المدارس ، وعسكرة مدرسة البوليتكنيك ، قد أوجد تراجعاً واضحاً في حين لم يكن تأسيس كليات العلوم إلا حركة بدون مفعول مباشر ، لأن البحث كان عملياً قد استبعد من نشاطها . وشهرة مؤسساته المختلفة التي خُرِجت العديد من العلماء ذوي القيمة ، جعلت من باريس ، بخلاف الثلث الأول من القرن التاسع عشر المركز غير المنازع للعلم العالمي . إن مدرسة بوليتكنيك ، والمتحف (الميزيوم) ، ومدرسة الطب والكوليج دوفرانس ، تمتعت بشكل خاص بمهابة استثنائية يعود الفضل فيها ، إلى شهرة أساتذتها ، وإلى جودة مناهج التعليم وإلى حماس الطلاب (1) . وكذلك اتحدت هذه المؤسسات كموضوع لمؤسسات متنوعة أنشئت في مختلف بلدان أوروبا . وكون هذا الإصلاح قد ارتبط بالعمل التحريري الذي ساهمت به الثورة الفرنسية ، ساعد إلى حد بعيد على الاستقبال الحار الذي لقيته هذه الثورة في الأوساط الأوروبية الثقافية ، إن وضع سياسة وطنية للعلم سوف يكون أحد أهداف الحركات الثورية طيلة القرن .

إلا أن مجمل الظروف في فرنسا أصبح أقل تشجيعاً لمتابعة السياسة التي أطلقتها الثورة . فحكومة الرستوراسيون [عودة الملكية بعد سقوط نابليون (المرحوم)] وإن احتفظت بالتنظيم السابق ، إلا أنها لم تظهر إلا القليل من الود تجاه العلم . أما الأنظمة التالية فقد أظهرت فهماً أكبر ، إلا أنها لم تقدم الدعم المالي اللازم . ورغم بقاء العاصمة الفرنسية ، طيلة القرن مركزاً علمياً مشرقاً جداً ، إلا أن تفوقها تراجع بسرعة أمام الجامعات الألمانية . إن الأسباب الأساسية لهذا التراجع كانت المركزية الشديدة في النظام الجامعي الفرنسي ، وجمود برامجها ، والمكان غير الكافي الممنوح للبحث العلمي ، وعدم كفاية التجهيز . في حين تكاثرت في ألمانيا المحنرات ومؤسسات البحوث الحيدة التجهيز ، كان علماء في الكوليج دو فرانس يمثل عظمة ماجندي وكلود برنار ، لا تنير لهم إلا أماكن غير كافية والا معدات بدائية .

وكذلك سيطرة الوضعية التي قال بها أغوست كونت على العديد من العلماء الفرنسيين كانت أيضاً مانعاً من التقدم . إن الفلسفة الوضعية وإن بدت ظاهراً محبذة للعلم ، إلا أنها كانت تقوم على مفاهيم جامدة جداً ، فولدت حالة فكرية معادية لبعض اتجاهات البحث التي تفتح انطريق أمام الغرياء الحديثة .

إن إشارات تمجد ظهرت في كل الأحوال ومنها : النهضة السريعة لمدرسة دار المعلمين العليا

(1) إن جمعية أركاي ARCEUIL ، وهي نوع من الأكاديمية الخاصة كانت تجتمع عند برتوليت من سنة 1804 حتى سنة 1821 وكانت أيضاً مركزاً نشيطاً جداً شجع البحوث الهندسية والرياضية وأنشأت تنظيم العلم الفرنسي .

حيث أقام سانكلير دوفيل مختبراً حديثاً ، ثم اليقطة البيطية ولكن المنظمة لكليات الأرياف ، وتأسيس المدرسة العملية للدراسات العليا ، والموجهة فقط نحو البحث ، وإفتتاح مدرسة الانتروبولوجيا أو علم الإحاثة الخ . وفي أواخر القرن حطمت جبراً جديداً من الفيزيائيين الموهوبين أمثال كوري (الزوجان) ويرير ولانجفين التراث العقيم ، مما مكن الفيزياء الفرنسية من اللحاق بالتيارات الأكثر حداثة في البحث .

إن التناقض بين النجاح الباهر لإصلاحات الثورة ، والتزدي النسبي للتعليم التجريبي ، والذي نتج عن التخلي عن هذه السياسة يدل دلالة واضحة على ضرورات البحث العلمي الحديث وذلك بإثبات الحاجة الى تكيف مستمر لتنظيم العلم في السبل الجديدة للتقدم .

ألمانيا . - في أواخر القرن الثامن عشر بدا العلم الألماني في مرحلة تراجع واضح . ولكن الأعمال الأولى التي قام بها غوس دلت على تجديد سوف يتأكد بسرعة تحت تأثير مزودج من الإصلاحات الجامعية التي حصلت في فرنسا ، والأمالي الوطنية التي غامها الإحتلال السابليوني ، وتحت تأثير فلسفة الطبيعة . يضاف الى مثل جامعة غوتنجر التي أعطت في القرن الثامن عشر المكاد الأوسع للتعليم وللطب ، والتي أنشأت مناهج حديثة للتعليم ، مثل جامعة برلين ، التي أسست وفقاً لخطط وتصاميم و . فون هبولدت سنة 1810 . وهذه الجامعة التي كان فخته أول عمدائها ، وسعت أيضاً إطار التعليم العلمي والطبي وأتاحت بفضل اجتماعاتها ومعاهدها المتخصصة ، للطلاب ان يشاركوا في أعمال البحث . وسرعان ما قامت جامعات أخرى أو أعيد تنظيمها وفقاً لهذا النموذج ، وفي برussia ، في بريسلو Breslau ، وكونينغسبرغ Königsberg ، وهال Halle وبون Bonn ، وفي الولايات الأخرى الألمانية في ينا Iéna وارلنجر Erlangen وميونخ Munich وأورسبورغ Würzburg وهيدلبرغ Heidelberg وتوينجين Tübingen ، الخ ، وفي البلدان المجاورة التي تتكلم الألمانية ؛ هذه المؤسسات التي سبقت التوحيد السياسي ، كانت تنبض بالألماني الليبرالية والقومية وحفقت قليلاً قليلاً وحدة علمية حقة للغة الألمانية ، مع الحفاظ على تنوع كاف فيها بينها وعلى مافسة مفيدة . ان العمل الدؤوب الذي قام به الكسندر فون هبولدت Alexander Von Humboldt والنجاح الكبير لاجتماعات (الجمعية العلمية الألمانية) قد ساهما بنشاط في هذه النهضة التي جعلت من ألمانيا التي كانت ما تزال موزعة سياسياً ، في أواسط القرن - المركز الأكثر نشاطاً في العلم الغربي . هذا التطور تسارع أيضاً بعد التوحيد مع اتخاذه أحياناً شكلاً أقل ليبرالية ، ومستوحياً اهتمامات أكثر نفعية .

ان تكاثر المختبرات ، ومؤسسات البحث ، والجامع يدل على تزيده فلسفة الطبيعة ، مما أتاح تخصصاً متزايداً سلك مسالك التقدم الموجهة . والمثل النموذجي الخاص بهذا الشأن ، هي الكيمياء التي تبين أيضاً الإنعكاسات المهمة التي يجدها البحث في مجال التطوير الصناعي والإقتصادي .

في الثلث الأول من القرن ، أنشأ كيميائيون موهوبون ، تدربوا في ستوكهولم على يد برزيليلوس ، وفي مختبر مدرسة بوليتكنيك في باريس ، أو في هيدلبرغ على يد جلين (Gmelin) ، في كل الجامعات مختبرات ناشطة ، وأشهرها هو مختبر ليبينج في جيسن (Giessen) الذي توجه ناحية الكيمياء العضوية والكيمياء الزراعية . وفي النصف الثاني من القرن ، امتد هذا المجهود الى المجال التقني ، فتسبب

بنهضة سريعة في الصناعة الكيميائية، وهي أداة لم يكن لها مثيل في قدرة ألمانيا الاقتصادية والسياسية وكانت الفيزيولوجيا أيضاً مثلاً على فعالية التنظيم الجديد . في هذا الوقت كانت البحوث في فرنسا قد تباطأت نتيجة نقص التجهيز ، في حين قامت في ألمانيا معاهد عدة للفيزيولوجيا ، في كارلسروه Karlsruhe ، وفي برسلو (بوركني Purkyne ، 1834) ، ثم في بون Bonn وفي برلين ، بفضل Johannes Müller . واستطاع الجيل التالي ، جيل بوا- ريمون (Bois-Reymond) وهلمهولتز (Helmholtz) ولودويغ (Ludwig) ، ان يتابع هذا المجهود وان يجعل من ألمانيا مركزاً معتبراً ، يأتيه اعداد لا تحصى من الفيزيولوجيين لتدرب ، لتنتشر فيما بعد في كل أوروبا ، وفي الولايات المتحدة ، وفي اليابان ، الخ .

وهناك أمثلة أخرى ذات اتجاه أيضاً ، سواء كان ذلك مثل الرياضيات ، الذي سبق عرضه أو مثل العلوم الفيزيائية حيث عرف العلماء الألمان كيف يزاوجون بين إمكانيات الأداة الرياضية وبين الإمكانيات التجريبية في مختبرات حسنة التجهيز .

إن أهمية الأعمال التي حققتها ألمانيا في القرن التاسع عشر ، في كل مجالات العلم ، والسمة الحسنة التي نالتها جامعاتها ومختبراتها لدى العديد من الباحثين الأجانب الذين جاءوا يتدربون فيها ، وكثرة عدد منشوراتها المتنوعة ونوعيتها : مجالات متخصصة ، نشرات بيبليوغرافية ، كتب ومؤلفات بحرية ، كل ذلك يبرر الهبة أو المكانة الإستثنائية التي توج بها علم هذا البلد في آخر القرن التاسع عشر . وهناك أيضاً عاملان آخران يجب ذكرهما : الانتشار السريع للقوة السياسية للألمانية الموحدة ، الذي جعل من هذا البلد ومن لغتها قطبي اجتذاب قوين بشكل خاص ، ثم النهضة السريعة التي حققتها صناعتهما ، والتي أثبتت الفعالية الأكيدة لطرق عمل مؤسساتها ومختبراتها .

بريطانيا - في السنوات الأولى من القرن التاسع عشر ، كان وضع العلم البريطاني دا مظاهر معقدة نوعاً ما . ففي حين كان علماء المملكة المتحدة ، في بعض المجالات ، في طليعة التقدم - خاصة في علوم الفيزياء ، بفضل و. هرشل W. Herschel ، ودافى دافى Davy ويونغ Young ودالتون Dalton ، وفي علوم الأرض بفضل المدرسة البلوتونية في أدنره ، وو . سميث (W . Smith) - ففي مجالات أخرى ، كالرياضيات ، لم يكن هناك أي إنتاج أصيل مهم يستحق الذكر .

وأسباب مثل هذا الوضع متعددة . وإذا كان خصب التراث النيوتني في الفلسفة الطبيعية وفي التحليل التجريبي هو في أساس نجاحات الفيزيائيين البريطانيين ، فإن التفهق الواضح في تعليم العلم ، وجمود «الجمعية الملكية» ، والسيطرة الأرستقراطية والدينية على الجامعات ، والمفاهيم النفعية للأوساط الصناعية والاهتمام القليل الذي كانت تبديه السلطات العامة تجاه العلم ، كل ذلك يفسر التأخر المهم الذي ظهر في قطاعات أخرى . إن انتصار نابليون ، الذي دل على تراجع الفلسفة المادية والعقلانية التي انتشرت بفعل «الثورة الفرنسية» ، والذي كرس التفوق الصناعي البريطاني ، أيد القادة السياسيين والجامعيين في مشاعرهم المعادية ، لتطور كبير في العلم ، المصدر الممكن للإلحاد . وبالمقابل ، وبفضل جامعاتها المزدهرة ، التي بقيت على

اتصال مع العلم في القارة، بقيت اسكتلندا خارج هذا التيار الإطلامي، واستطاعت من جراء هذا أن تلعب دوراً مهماً في التجديد الذي لا بد منه في بنيت العلم البريطاني.

إن مثل هذا التجديد كان مرغوباً به بشدة من قبل العديد من العلماء. وكانت هناك بشائر ذات دلالة تستحق الذكر. وكان «للمؤسسة الملكية» (Royal Institution) التي أسست سنة 1801، تأثير خصب، بفضل الشخصية المعتبرة التي تمتع بها الأساتذة الأوائل: دافي (Davy)، ويونغ (Young)، وفارادي (Faraday). وتم الإتصال بالرياضيات القارية بفضل مبادرة بعض الرياضيين الشبان من كمبردج: بيكوك (Peacock)، وباباج Babbage وج. هرشل (J. Herschel) الذين أدخلوا الطرق المتناهية الصغر اللينينية [نسبة إلى لينينير]. إن نجاح «الجمعية اللينية» [نسبة إلى لينينير]، وتأسيس «الجمعية الجيولوجية» (Geological Society) (1807)، و«الجمعية الفلكية» (Astronomical Society) (1820)، الخ. وتأسيس «معاهد الميكانيك» (Mechanics Institutes) المتخصصة بإعطاء تدريب أساسي تقني علمي للحرثيين المستقبلين - وأحد هذه المعاهد، المؤسس في لندن سنة 1823، هو الذي ولّد كلية بيربك (Birkbeck College)، أول عنصر من عناصر جامعة لندن المستقبلية - كل ذلك ثبت هذه الانطلاقة التجديدية.

إن الأوساط الليبرالية، والأوساط المنشقة من التلامذة القدامى في الجامعات الاسكتلندية، كانت الطلائع الرئيسية للحركة الإصلاحية التي اصطدمت بعدائية الطبقات الحاكمة الغبورة على امتيازاتها، وبعدائية الكهنوت الأنغليكاني الذي كان يمارس وصاية قاسية على أشهر جامعات أوكسفورد وكمبردج، وكان لهذه المعركة عدة أهداف: إصلاح الجمعية الملكية، المشلولة بتدقق الأعضاء من غير العلماء، والغاء الرقبة الدينية على دخول الجامعات، ووضع تعليم علمي حديث، ثم قيام السلطات العامة بتقديم العون المالي اللازم من أجل إنشاء العديد من أجهزة التعليم والبحث.

وعملت التقارير المتعددة المتحمسة حول اجتماعات الجمعية العلمية الألمانية للعلوم الطبيعية، والعديد من مقالات أدنبره، وبصورة خاصة الدفاع المؤثر الذي قدمه شارل باباج، بعنوان «تأملات حول تدهور العلم في انكلترا» (لندن، 1830) على تقوية التيار الإصلاحية. وقدم انشاء «الإتحاد البريطاني» سنة 1831 عوناً حاسماً في هذه المعركة، بإعطاء العلماء منبراً لتقديم مشاريعهم الإصلاحية وتصاميمهم البحثية، مستعينين في عملهم بالمثليين الأكثر تنوراً، من كل الأوساط.

في الواقع كان على الإتحاد البريطاني (British Association)، طيلة القرن إن يناضل من أجل حمل السلطات العامة لوضع القواعد الأولى لسياسة حقيقية للعلم. ورغم المساندة التي وجدوها المصلحون لدى زوج الملكة اليبيرت دي ساكس - كويورغ (1819-1861)، فإن جهودهم لم تفعل فعلها إلا ببطء، وخلال هذه الحقبة كان تنظيم العلم البريطاني متأخراً جداً عن تنظيمه في البلدان الأوروبية. إن السجاعات الأكيدة التي حققها هذا التنظيم، كانت رغم كل شيء في قسم منها من صنع العلماء الهواة، بل المصاصيين.

إلا أنه، رغم العداء الظاهر الذي أظهره بعض القادة، كان ضغط الأحداث والرأي العام، وخاصة المعلومات الأكيدة عن النجاح الألماني على الصعيدين الصناعي والعسكري قد دعم العمل

الاقتصادي الذي قدمه «الإتحاد البريطاني» الأمر الذي حل الحكومة تدريجياً على إصلاح الجامعات القائمة ، وعلى إنشاء مؤسسات تعليم عام أو متخصص مثل «الكلية الملكية للكيمياء» (1845) ثم «المدرسة الحكومية للناجم والعلم» (1851)، ومختبرات ومراكز بحوث (مثل المختبر الشهير، «مختبر كافنديش» في كامبريدج، الذي أسس بأموال خاصة وأسند منذ إنشائه سنة (1872)، إلى ماكسويل) وعلى تزويد برامج واسعة للبحث في مجالات متنوعة . إن هذا التنظيم ، وإن صمم ، وحقق بشكل تجريبي ومتأخر، إلا أنه أعطى نتائج ممتازة . الحقيقة أن المختبرات ومعاهد البحوث الألمانية ، المزاردة كثيراً من قبل العديد من الباحثين البريطانيين ، قد استخدمت كنماذج للمؤسسات المماثلة التي أنشئت في المملكة المتحدة . وهكذا تكيفت بريطانيا التي لم تعرف الثورة ولا الاجتياح ، كما حصل لفرنسا وألمانيا ، مع الظروف الجديدة للتقدم العلمي إنما ببطء. وعلى الأقل استطاعت في أواخر القرن أن تحقق شكلاً من التنظيم للعمل العلمي تبين أنه فعال بشكل خاص في العديد من المجالات .

إيطاليا . - رغم أن العلم الإيطالي قد تمثل بممثلين ذوي قيمة أمثال روفيني وڤورتا وغاشاني وسبالازاني إلا أنه لم يشرق ، في أواخر القرن الثامن عشر في مجمله اشراقاً قوية . ان تقسيم البلاد الى عدة دول ، وتفرق المراكز الفكرية هي الأسباب الأساسية في هذا الوضع . ومنذ السنوات الأولى من القرن التاسع عشر عمل تأثير الأفكار الثورية والاتصالات الثقافية الوثيقة مع فرنسا ، وكذلك سيطرة ادارة نابليون على تحديث التعليم وعلى توحيد جزئي للبلد . ولكن بعد سقوط الامبراطورية وجدت إيطاليا نفسها مجزأة من جديد وخاضعة لانظمة تسلطية قليلة التجديد لتقدم العلم . ورغم استمرار بعض النشاط في الجامعات الصغيرة ، العشرين ، الموجودة في شبه الجزيرة ، فإن النصف الأول من القرن التاسع عشر هو حقبة مظلمة في تاريخ العلم الإيطالي . لقد كان الفعل الأساسي للأوساط الفكرية منصباً على الصعيد السياسي من أجل الصراع للتحرير ولتوحيد التراب الوطني . ولهذا ارتدت الاجتماعات السنوية للعلماء الإيطاليين ، التي نظمت ابتداءً من 1839 ، الصمة الثورية والوطنية ، سريعاً ، الأمر الذي تسبب بمنعها سنة 1847

ولكن منذ منتصف القرن عمد تطور الشعور الوطني والتحقيق التدريجي للوحدة الإيطالية على احداث نهضة سريعة في النشاط العلمي ارتبط ازدهاره ، بشكل موثق بازدهار الدولة الجديدة . ان الجهود التجديدية المحدثة في كل المجالات بإيمان قوي ابتداءً من التجارب الأجنبية ، أدت الى تجديد عميق للتجهيز العلمي وللبنيات الجامعية وأتاح تكوين نخبات علمية ناشطة جداً امتدت أعمالها البحوثية ، التي كانت غالباً أصيلة جداً ، الى كل المجالات العلمية ، ابتداءً من المنطق الرياضي والجيوستريا الخبرية ، وصولاً الى علم الطفيليات والى التشريح الطبي «الباثولوجي» .

سويسرا - انها ملتقى الثقافات وفيها تتواجه وتمتزج التأثيرات الفرنسية والالمانية وحتى البريطانية . لقد تمخضت سويسرا تنظيمها الجامعي وفقاً لبنيانها السياسية التي وضعت عبر القرن ، وقد أضيفت ، الى الجامعات القديمة (بال ، برن ، لوزان ، جنيف) أو الجديدة (زوريخ ، نيوشاتل) ، الموضوعات تحت سلطة الحكومات الإقليمية ، مدرسة بوليتكنيك فيدرالية (1854) أصبحت بسرعة مركزاً مشهوراً جداً . ومنذ سنة 1815 قامت الجمعية السويسرية (الهلفسية) بتنظيم اجتماعات سنوية . واعتبرت

هذه الجمعية كنموذج للاتحادات المستقبلية ، من أجل تقدم العلوم . إن عمل العلماء السويسريين (المفلسيين) كان بارزاً بشكل خاص في الرياضيات ، مع ج. شتاينر ، ول. شلافلي ، وفي الفيزياء التجريبية والأدواتية ، وفي الجيولوجيا الآلية مع م. لوجون ، وآ. هيم ، وفي علم النبات مع العائلة الشهيرة كندول Candolle ، وفي الفيزيولوجيا النباتية والروولوجيا المستنقعية . وإذا كانت الجامعات السويسرية ومدرسة بوليتكنيك الفيدرالية قد استقبلت العديد من العلماء من الخارج إلا أن العديد من العلماء السويسريين قد عرف الشهرة البراقة في الخارج مثل : ش. ستورم في باريس ، وج. شتاينر وأ. بواريمون في ألمانيا ، ول. اغاميز في الولايات المتحدة .

بلجيكا والبلدان المنخفضة - كانت البلدان المنخفضة الحالية وبلجيكا مرتبطة بمصير فرنسا حتى سنة 1814 ، ثم جمعت بعدها تحت اسم مملكة البلدان المنخفضة ، وبعدها قسمت نهائياً سنة 1830 إلى البلدان المنخفضة الحالية وبلجيكا . من أجل هذا كان تنظيمها الجامعي قد تغير عدة مرات . في البلدان المنخفضة ظلت مدن ليد ، غرونغ ، أمستردام وأوترخت مراكز جامعية ، في حين أضيفت في لشبكا ، حامعات الدولة غاند وليج . ثم جامعة بروكسل الحرة ، إلى الجامعة الكاثوليكية القديمة في لويفر .

وفي بلجيكا ، حيث كانت العلوم في تأخر واضح في القرن الثامن عشر كانت البقطة بطيئة رغم الجهود العتيدة التي قام بها أ. كيتيل ، مؤسس مرصد بروكسل ، ومنظم المؤتمرات الدولية الأولى ، ومنشئ الاحصاء الاجتماعي . ولكن ، في آخر القرن ، ظهرت نهضة في كل المجالات ، نهضة قواها تأسيس عدة معاهد متخصصة ، بمولها الصناعي أرنتس سولفسي (Ernest Solvay) . وأول هذه المعاهد ، كان المعهد الفيزيولوجي ، وبدأ نشاطه سنة 1893 ، تحت إدارة بول هيفر (Paul Heger) .

في البلدان المنخفضة ، بعد حقبة من الجمود ، تتناقض مع الإشراف الذي عرفته جامعة ليد (Leyde) في القرن الثامن عشر ، كان آخر القرن التاسع عشر أيضاً حقبة تموسريع .

وتكفي أساء : فان در والز ، لورنتز ، وزيمان ، وكامرلسغ أونس في الفيزياء ، وأساه مولدر وهانت هوف في الكيمياء ، وأخيراً أساه هـ. دي فريس H. de Vries . وأينتهوفن Eindhoven في البيولوجيا ، للدلالة على المستوى العالي الذي بلغه العلم في البلدان المنخفضة في بداية القرن العشرين .

سكندنيافيا .- في البلدان السكندنيافية ، زين بعض العلماء الكبار مطلع القرن ، مثل برزيلوس ، الذي يعتبر محبته في ستوكهولم أحد الأماكن العالية في الكيمياء الأوروبية ، والفيزيائي الدانمركي أوستد (Oested) ، الذي اشتهر باكتشافه المضاعيل المغناطيسية للتيار الكهربائي ، ثم الرياضي الشهير النرويجي أبيل (Abel) . واحتوت العلوم الطبيعية ، حيث استمر الدفع الذي قدمه ليني Linné ، أساه مقدرة أيضاً أمثال ثونبرغ Thunberg ، ودي فري (de Fries) ، وشاريوس وأغاردث .

وبعد حقبة من الجمود النسبي ، تشكل مناخ مساعد للعلم حوالي سنة 1880 تحت تأثير النمو الاقتصادي الذي حطم الأطر الاجتماعية التقليدية . وبرزت هذه النهضة أولاً في الدانمرك وفي

الترويج، ثم امتدت الى السويد . وفي حين كانت الجمعيات المتنوعة تنشر العلم في الأوساط الشعبية ، كانت الجامعات القديمة تزدهر جداً (كونينهاغن، أوبسالا ، لوند Lund) ، وكذلك جامعات أوسلو وستوكهولم التي أسست سنة 1811 و1878 ، وأنشئت معاهد متنوعة متخصصة اما بمعونة الأموال العمومية ، واما بفضل التبرعات من الصناديق الخاصة (كارلسبرغ في الدانمرك ، 1876 ؛ نوبل في ستوكهولم) .

وإذا كانت كل المجالات العلمية قد تلقت دفعة جديدة ، فإن النتائج كانت باهرة بشكل خاص في الرياضيات (س . لي وج . ميتاغ - ليفلر ، مؤسس « اكثاماتيككا » ، سنة 1882) ، وفي الفيزياء والفيزيكياء (انغستروم ، وارهينيوس ، وج . ريدبرغ ، ويجركنس ، وغولديبرغ ، وواج) ، وفي الزوولوجيا البحرية (نوردنسكيولد وج . دي جير) ، وفي الطب ، مع ن . ر . فنسن وآ . هنسن . نذكر أخيراً ، ان وصية المهندس السويدي الفرد نوبل ، هي التي أسست ، سنة 1896 ، جائزة نوبل التي بدى بمنحها ابتداء من سنة 1901 ، على أن تمنح جوائز الفيزياء والكيمياء أكاديمية العلوم في ستوكهولم ، وجائزة الطب معهد كارولنسكا Karolinska .

أوروبا الوسطى والدانوبية .- خضعت بلدان أوروبا الوسطى والدانوبية المختلفة ، لمختلف الأنظمة الاستبدادية ، كما كانت ضحية الاضطرابات القومية ، والثورات والحروب ، وهكذا وجدت نفسها في القرن التاسع عشر ، في مناخ سياسي ، واقتصادي واجتماعي قليل الملائمة للنشاط العلمي المتماusk والمستمر . وإذا استثنينا بعض المراكز في الامبراطورية النمساوية المجرية ، فإننا لا نجد إلا بقعة متصاعدة وظهور بعض المؤلفات ذات القيمة العالية ، ولكنها نادرة وفريدة .

وضمن حدود النمسا الحالية ، كانت المراكز العلمية الأكثر إزدهاراً هي غراتز Graz وفيينا ، المزودة بمعاهد (Hochschulen) تقنية ، وكانت تنتمي ، في الواقع الى الطائفة العلمية الكبيرة التي تتكلم الألمانية . إن أسماء الفيزيائي بولتزمان ، وروكينانسكي المشرف على مدرسة طبية حية ، وفي فجر عصرنا إسم فرويد (Freud)، كلها تدل على الحيوية المستمرة في جامعة فيينا .

كانت هنغاريا خاضعة للنمسا ، ثم أعطيت نظام حكم ذاتي ، وكان فيها جامعة بست (Pest) ، مركز الاضطرابات الوطنية ، وقد شهرها الفيزيائي يوتفوس (Eötvös) . ومن بين المثاليين الآخرين للعلم الهنغاري ، لا يمكن أن ننسى ج . بولييه J. Bolyai ، أحد مؤسسي الهندسة غير الاقليدية [نسبة إلى اقليس]وي . سموليس I.Semmelweis وهو طبيب موهوب ذو مصير مأسوي .

ومند الاقتسام ، ظلت بولونيا خاضعة بشدة للضغط الاجنبي ، ورغم بعض النشاطات في جامعتي فرسوفيا وويلنو، تحت الوصاية الروسية، كانت الجامعة القديمة، جامعة جاجيلون (Jagellone) في كراكوفيا ، هي التي عادت من جديد لتصبح بعد 1869 - تحت الحكم النمساوي المركز الرئيسي للعلم البولوني، وفي كراكوفيا حيث مقر الأكاديمية البولونية للعلوم، نجح الفيزيائيان أولزوسكي (Olszewski)، وروبلوسكي (Wróblewski) في سنة 1883، في إجراء تجارب مهمة حول تسيل الغازات .

كانت بوهيميا ، بؤرة ناشطة للإضطرابات البانسلافية ، وكانت خاضعة للسيطرة النمساوية ،

وفي سنة 1882 أنشئت جامعة تشيكية في براغ . ومن بين المثليين الأبرز للعلم التشيكي في القرن التاسع عشر تبرز ثلاثة أسماء : غريغور مندل (G. Mendel) مؤسس علم الوراثة (Génétique) الحديث وب. بولزانو (Bolzano) ، محلل ومنطقي موهوب ، وأ. بوركني E. Purkyně ، وهو عالم متخصص بالخلايا وفيزيولوجي [عالم بوظائف الأعضاء] .

إن ملاد يوغوسلافيا الحالية كانت مقسومة بين السلطة العثمانية والامبراطورية النمساوية الهنغارية ، فلم تعرف بخلال القرن التاسع عشر إلا نشاطاً علمياً محدوداً . إلا أنه في أواخر القرن أصبحت جامعتا زغرب وبلغراد نشيطتين جداً . وقد نزع عنها بعض العلماء من ذوي القيمة وما يزالون مثل المهندس الشهير نقولا تسلا الذي نشأ في غراتز ، واشتغل في بودابست وفي باريس قبل أن يقوم بعمل باهر في الولايات المتحدة . ورغم أن اليونان وبلغاريا ورومانيا قد أنشأت بصورة تدريجية مدارس عليا وجامعات وأكاديميات ، إلا أنها لم تستطع حتى الآن أن تتلأ تأخرها الخطير في المجال العلمي ، وربما في القرن العشرين استطاعت هذه البلدان بجهد أن تشارك في التقدم العلمي العام .

شبه الجزيرة الأيبيرية .- في شبه الجزيرة الأيبيرية المدمرة بالحروب النابليونية ، بقيت الظروف السياسية - رغم بعض محاولات الإصلاح الليبرالي - غير ملائمة لتقدم علمي حر . إلا أن إعادة تجمع الجامعات نفخ روحاً جديدة في المراكز الأكثر أهمية مثل لشبونة وفالنسيا ، وبرشلونة وخاصة مدريد .

في فجر القرن العشرين رودت الجامعة الأخيرة بعدة معاهد كانت حيويتها بارزة بفضل تأثير العالم في الأنسجة الكبير س. رامون إي كاخال S. Ramón y Cajal . الذي حصل على جائزة نوبل في الطب سنة 1906 من أجل أعماله حول بنية الجهاز العصبي .

مراجع الفصل الأول

En plus d'ouvrages précédemment cités (pp. 603-604 : cadre général ; science, philosophie et société ; histoire de la science en général) — et dont certains comportent une importante partie bibliographique — nous ne mentionnerons que quelques études plus particulières :

W. GREGORY, éd., *International congresses and conferences, 1810-1937. Union list*, New York, 1938 ; L. PASTEUR, *Le budget de la science*, Paris, 1858 ; E. MAINDRON, *L'Académie des sciences*, Paris, 1888 ; L. LIARD, *L'enseignement supérieur en France de 1789 à 1889*, Paris, 1888 ; *La science française*, 2 vol., Paris, 1915 ; M. DAUMAS, *Arago*, Paris, 1913 ; L. FAYET, *La Révolution française et la science*, Paris, 1960 ; K. SUDHOFF, *Hundert Jahre Deutscher Naturforscher Versammlungen*, Leipzig, 1922 ; F. SCHNABEL, *Deutsche Geschichte in neunzehnten Jahrhundert*, v. 3, Fribourg, 1919 ; Ch. BABBAGE, *Reflections on the decline of science in England*, Londres, 1830 ; A. I. TILLYARD, *A history of University reform*, Cambridge, 1913 ; A. SCHUSTER et A. E. SHIPLEY, *Britain's heritage of science*, Londres, 1917 ; O. J. R. HOWARTH, *The British Association for the Advancement of Science, 1831-1931*, Londres, 1931 ; G. B. PETRUCCI, éd., *L'Italia e la scienza*, Florence, 1932 ; L. SILLA, éd., *Un secolo di progresso scientifico italiano*, 7 vol., Rome, 1939-40 ; E. FUETER, *Grosse Schweizer Forscher*, Zurich, 1934 ; C. van OVERBERGH, *Le mouvement scientifique en Belgique, 1830-1905*, 2 vol., Bruxelles, 1907-1908 ; A. J. BARNOW et B. LANDUEER, éd., *The contribution of Holland to the sciences*, New York, 1933 ; W. MEISEN, *Prominent Danish scientists*, Copenhagen, 1932 ; S. LINDROTH, *Swedish men of science*, Stockholm, 1952 ; *Histoire sommaire des sciences en Pologne*, Cracovie, 1933.

الفصل الثاني

العلم والحياة في روسيا (القرن الثامن عشر والقرن التاسع عشر)

القرن الثامن عشر .- ان بداية النمو الزاخم لأعمال البحث العلمي في روسيا تعود الى الربع الثاني من القرن الثامن عشر . لقد اقتضت نهضة الصناعة والتجارة ، والبناء المدني والعسكري وتأهيل الطرقات وإنشاء جيش وبحرية حربية نظاميين ، بصورة ملحة ، في بداية القرن الثامن عشر ، وجود اختصاصيين مؤهلين لمختلف فروع التقنية والعلم . من هنا نشأت اصلاحات بطرس الأكبر في مادة العلم والتعليم .

في سنة 1701 انشئ في موسكو مدرسة علمانية للدولة متخصصة بالرياضيات وبالملاحة . وكانت أول مدرسة من نوعها في روسيا . وبعدها أنشئت مدارس متنوعة للهندسة المدنية والطب في موسكو وبطربرغ ، ومدارس مساجم في الأورال الخ . وفي 1724 أصدر بطرس الأكبر مرسوماً بإنشاء أكاديمية العلوم في بطرسبرغ ، افتتحت بعد موته سنة 1725 ، وكانت تنويهاً لكل هذه الاصلاحات . واشتملت الأكاديمية على مكتبة ومتحف ومرصد وفرع للفيزياء ومختبر للكيمياء (1748) . وكان « معهد الرياضيات » والجامعة تابعين للأكاديمية وكانت مهمتها تنشئة العلماء والمساعدين لهم .

وفي سنة 1755 وبإيعاز اقترح م . ف . لومونوسوف ، Lomonosov ، تأسست جامعة موسكو وفيها كليات للحقوق والطب والفلسفة .

وفي سنة 1765 تأسست في بطرسبرغ الجمعية الاقتصادية الحرة ، وهي أول جمعية علمية في روسيا .

وفي سنة 1773 فتحت في بطرسبرغ مدرسة مناجم (تحولت في القرن التاسع عشر الى معهد للمناجم) ؛ وفي سنة 1798 وفي نفس المدينة حولت مدرسة الطب والجراحة الى أكاديمية للطب والجراحة .

واقصر نشاط أكاديمية العلوم في بطرسبرغ الى حد بعيد على المهمات العملية .

وعلى سبيل المثال يمكن أن نذكر الأعمال المتطمة من أجل دراسة الطبيعة والسكان في أراضي الامبراطورية الواسعة خاصة في مناطقها الشمالية والشرقية ، وهكذا قام بين سنة 1733 و 1744 تعاون مع كلية الاميرالية (وزارة البحرية) ، لارسال بعثة كبيرة شمالية الى سيبيريا وإلى جزيرة كامتشاتكا Kamtchatka . ومن سنة 1768 الى سنة 1774 أرسلت بعثات من أجل استكشاف مختلف مناطق روسيا في أوروبا وفي آسيا ؛ ومن سنة 1785 الى سنة 1792 ذهبت بعثة الى الشرق الأقصى الخ . الى جانب ذلك قامت بحوث متتابعة لرسم الخرائط وحول الفلك وحول علم الطقس والجيولوجيا وعلم النبات وعلم الحيوان ، ومن أجل بناء معدات بصرية أو جيوديزية الخ .

وساهم علماء مشهورون بأعمال الأكاديمية في القرن الثامن عشر . ومن بينهم يعود المقام الأول الى ل. أولر L. Euler وإلى م. ف. لومونوسوف M.V. Lomonossov الذي بقيت عبقريته الموسيعة لمدة طويلة مجهولة من مؤرخي العلم . في بادئ الأمر من أجل مواجهة نقص الاختصاصيين الروس ، جرت دعوات لعلماء أجانب مثل د. برنولي D. Bernoulli ، والفيزيائي ف. و. اينوس F.U. Aepinus ، والفيزيولوجي ك. ف. ولف K.F. Wolff ، وعالم الطبيعة ب. س. بالاس Pallas ، والكيميائي ت. لويتز T. Lowitz (1757-1804) . ولكن في السنوات الأربعينيات نفد العلماء الروس على العلماء الأجانب في الأكاديمية وحلوا محلهم . ومنهم : العالم الطبيعي م. ب. كراشينينكوف (1711 أو 1713-1755) ، والفيزيائي ج. ف. ريشمان J.V. Richmann (1753-1711) . من استونيا ، والفلكي والرياضي س. ي. روموفسكي S.Y. Roumovski (1734-1812) ، ثم علماء الطبيعة : ي. ي. ليكين I.I. Lépekhine (1740-1802) وف. ف. زوف V.F. Zoué (1754-1794) ثم ن. ي. أوزيريتسكوفسكي N.Y. Ozéretskovski (1750-1827) الخ

وسرعان ما أصبحت أكاديمية بطرسبرغ أحد مراكز العلم العالمي . إن البحوث المتخصصة والعديدة التي نشرتها مع 72 مجلداً من المذكرات حول القرن الثامن عشر تعتبر كلها تقدماً هائلاً من أجل تطوير الفكر البشري .

في تلك الحقبة كان القليل من العلماء فقط يقومون ببحوث جانبية على هامش الأكاديمية . ومنهم مثلاً م. م. تريكوفسكي (1740-1796) Terekhovski ، في مجال البيولوجيا ، أو مثلاً آ. ت. بولوتوف Bolotov (1738-1833) في مجال علم البيولوجيا الزراعية .

من بداية القرن التاسع عشر حتى ثورة أكتوبر 1917 . إن التفكك التدريجي لعلاقات الانتاج القطاعية ، ونمو العلاقات الرأسمالية ، وظهور فروع جديدة في الصناعة ، ومهمات التقنية العسكرية ، قد تسببت في مطلع القرن التاسع عشر بالتحويلات الجديدة في نظام التعليم . فقد فتحت في كل مراكز الأقضية الحكومية معاهد للرياضيات ، كان تلامذتها المتخرجون يتمتعون بحق الدخول الى المدرسة العليا . وظهرت مدارس تقنية متنوعة مثل معهد المهندسين في طرق المواصلات في بطرسبرغ (1810) ومدرسة الدراسات العليا التقنية في موسكو (1832) الخ . وتشكلت معاهد للتربية الى جانب الأكاديمية ، ولكن بالمقابل فتحت جامعات بعد سنة 1802 ، في تارتو وبعدها في فلنيس وفي

كازان ، وفي كاركوف وفي بطرسبرغ وفي كييف ، الخ . وقبل 1917 كان عدد الجامعات فوق الأراضي الروسية 10 جامعات ، دون أن نحسب فيها جامعة لفوف Lvov التي أسست سنة 1661 . وأنشئت داخل الجامعات كليات فيزيائية لتعليم كل مركبات العلوم الطبيعية . وبدأ العلم يتخصص بصورة تدريجية وأخذ عدد الطلاب يتضخم ، وإن تناقص ، في بعض الأحيان (1848-1854 و 1885-1897) بسبب تدابير الحكومة الرجعية الرامية الى محاربة الأفكار الثورية التي كانت تنتشر بين الشبيبة . وتلقى العلم العالي دفعة خاصة بعد الستينات بسبب النمو السريع للأسماحية بعد إلغاء الرق . ومن بدايات القرن التاسع عشر الى الحرب العالمية الأولى ارتفع عدد الطلاب في الجامعات من بعض المئات إلى أكثر من ستين ألفاً .

وفي القرن التاسع عشر كان البحث العلمي ناشطاً ليس فقط في أكاديمية بطرسبرغ بل أيضاً في الجامعات التي تمتلك مكتباتها الخاصة ومراصدها ومختبراتها ، وتنتشر « حوليات » وكتبا . وأخذت مؤسسات جديدة مهمة تظهر الى الوجود مثل المرصد الفلكي في بولكوفو Poulkovo (1839) ، والمرصد الجيوفيزيائي في سان بطرسبرغ (1849) الذي كان يشرف على شبكة من المحطات المغناطيسية والميتورولوجية ، والبستان النباتي نيكيتسكي Nikitski في جزيرة القرم (1812) ومؤسسات أخرى كثيرة . وظهرت الى الوجود أيضاً جمعيات علمية متخصصة : منها جمعية علماء الطبيعة في موسكو (1805) وجمعية الجغرافيا (1845) والجمعية الرياضية في موسكو (1864) والجمعية الروسية للكيمياء (1868) ومؤسسات أخرى كثيرة . وارتدى نشاط هذه الجمعيات زخماً خاصاً أيضاً في الستينات تقريباً . وبفس الحقبة عمدت الأوساط العلمية الى تنظيم مؤتمرات لعلماء الطبيعة وللأطباء الروس . وأول مؤتمر عقد سنة 1868 والمؤتمر الثالث عشر عقد سنة 1913 في مدينة تفليس .

ن الوحدة الوثيقة بين العلم والحياة ، وبين النظرية والتطبيق كانت السمة المميزة لعمل العديد من العلماء الروس . كتب ب . ل . تشيبيشيف ، مؤسس المدرسة الكبرى للرياضيات في بطرسبرغ يقول :

« يعطي التقارب بين النظرية والتطبيق النتائج الأكثر إفادة ، والتطبيق ليس الوحيد الذي يستفيد من هذا التقارب ؛ ان العلوم بالذات تنمو بفضل تأثيره : فهو يفتح أمامها مواضيع جديدة للدراسة أو مظاهر جديدة في مواد معروفة منذ زمن بعيد » (ب . ل . تشيبيشيف ، مجموعة الأعمال الكاملة ، مجلد 5 ، 1951 ص 150 من الطبعة الروسية) .

وبذات الوقت ، جرى العمل على بحث معمق للمسائل التي كان لها ، على الأقل في ذلك الزمان ، أهمية نظرية والتي كانت ضرورية لتقديم العلم بالذات . وهذا يعود الفضل فيه أيضاً الى تشيبيشيف وتلامذته . وإذا كانت بحوث تشيبيشيف في نظرية « متعدد الحدود » في مقاربات الدالات (التابعات) قد كبرت بفعل ارتباطها الوثيق بدراسة نظرية الأوليات ، فإن أعماله حول نظرية الاعداد كان ذات سمة تجريدية .

وتبدو ذات دلالة خاصة ، من هذه الجهة ، أعمال ن . ي . لويانشفسكي حول نظرية التنازيات التي جذبت الانتباه منذ العصور القديمة . واكتشاف ن . ي . لويانشفسكي للهندسة غير الاقليدية

المهبرولية [المهبربول هو القطع الزائد] ، وكذلك السلسلة الكاملة من البحوث اللاحقة التي قام بها ب. ريمان وآخرون ، كان لها في البداية فائدة فيما بين الرياضيات وفي النتيجة . وفيما بعد ، أصبحا إحدى أهم المقدمات في الفيزياء الحديثة ، وفي التقنية المعاصرة ، المبينة على أساس هذه الفيزياء .

ان العلاقة الوثيقة بين البحوث العلمية وتطبيقها تمكن ملاحظتها في العديد من مجالات المعارف والعشرات من البعثات الروسية في القرن التاسع عشر لم تنتج فقط نحو سلسلة من البقع البيضاء في الخارطة الجغرافية (استكشاف القطب الجنوبي ، ومقابلة القطب الشمالي ، ودراسة آسيا الوسطى) ، بل انها أكملت أيضاً معرفة الثروات الطبيعية في روسيا . في سنة 1882 ، تم تأسيس ، تحت رئاسة أ.ب. كارينسكي (1846-1936) « لجنة جيولوجية » كانت مهمتها الاشراف على وضع الخطة الجيولوجية . وبذات الوقت كانت البحوث النظرية مستمرة على نطاق واسع في الجيولوجيا . نذكر على سبيل المثال أعمال ف.ي. فرنادسكي (1863-1945) الذي كان قبل 1917 ، ينتقل من مسائل علم المعادن الوصفى الى إنشاء علم جديد هو الجيوكيمياء .

ويعود الفضل الى العلماء الروس من القرن التاسع عشر أو بداية القرن العشرين في تحقيق العديد من الاكتشافات النظرية الأساسية في مجالات متنوعة .

في الكيمياء اكتشف د. ي. مندليف القانون الدوري الاساسي الذي افتتح عهداً جديداً ، ليس فقط في مجال هذا العلم ، بل أيضاً ، كما تبين فيما بعد ، في مجال الفيزياء . ان نظرية البنية الكيميائية التي وضعها آ. م. بوتليروف (1828-1886) قد وضعت في أساس الكيمياء العضوية الحديثة . وانطلاقاً من الستينات ، انجزت بحوث مهمة في مجال البيولوجيا . ووجدت نظرية داروين في روسيا أرضاً مهد لها من قبل ك. باير K. Baer (1792-1876) والعالم القائل بالنشوء والارتقاء ك. ف. روليه C.F. Roullier (1814-1858) وطُوِّرت في الأعمال حول علم الأجنة التي قام بها آ.و. كوفاليفسكي (1840 - 1901) و إ . إ . م. تشنيكوف (1845 - 1916) وحول الإحاثة من قبل ف . أ . كوفاليفسكي (1842 - 1883) . كان نجاح الداروينية في روسيا مرتبطاً بصعود الحركة الديمقراطية الثورية ، وبانتشار المفاهيم المادية . إن هذه الاتجاهات الايديولوجية بالذات قد ساهمت بتقدم الفيزيولوجيا ، في الأعمال الأساسية التي قام بها ي . م . تشنيكوف (1829 - 1905) وي . ب . بافلوف (1849 - 1936) ، حول النشاط العصبي الأعلى للإنسان وللحيوانات .

ورغم هضة الرأسمالية ، قبل 1917 ، كان مستوى التطور الصناعي في روسيا متأخراً بشكل واضح عن مستوى التطور في بعض الدول ، الأكثر تطوراً من هذه الناحية . ان التصنيع الضعيف نسبياً في البلد ، والجمود ، وفي أغلب الأحيان معارضة الجهاز الحكومي ، كل ذلك شل نشاط العلماء .

والكثير من الاكتشافات المحققة في روسيا القصيرة لم تكن تجد تطبيقاً عملياً لها مباشرة . وهكذا تم تناسي اكتشاف القوس الكهربائي ، الذي حصل سنة 1802 على يد ف. ف. بنروف (1761-1834) ؛ والمحرك الكهربائي (1834) الذي صنعه ب.س. جاكوبي (1801-1874) ، واختراع الراديو (1895-1896) من قبل أ. س. بوبوف A.S. Popov الخ بقيا بدون استعمال تقريباً . .

إن سلسلة كاملة من الأعمال النظرية ، المتحركة بحل المسائل التقنية المعيشية الملحة وبالاقتصاد الوطني ، لم تكن لتتحقق إلا بعد ثورة أكتوبر ؛ وهذا ينطبق مثلاً على الأعمال الأساسية في « التحرك الهوائي » (إيروديناميك) ، وفي « التحرك المائي » « هيدروديناميك » ، المحققة من قبل ن . أ . جوكوفسكي (1847-1921) وس . آ . تشابليغين S.A.Tchaplyguine (1869-1942) ، أو أيضاً في مجال مختلف تماماً ، في مجال انتقاء النباتات من قبل ي . ف . ميتشورين (1854-1938) . إن بحوث ق . أ . تسيلكوفسكي (C.E. Tsiolkovski) (1857-1935) - في مجال نظرية الصواريخ التي كانت قد سبقت الامكانيات المادية والتقنية المتاحة في عصره - لم تلاق أي دعم .

وننتج عن ذلك ان العديد من الاكتشافات المهمة للعلماء الروس ، قد استخدم الى حد واسع في الخارج ، في حين أن هذه الاكتشافات نسبت في روسيا . وكما سنرى في المجلد اللاحق ، انقلب الوضع بصورة جذرية في سنة 1917 ، بعد ثورة أكتوبر .

مراجع الفصل الثاني

Histoire de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., t. I (1724-1803), Moscou-Leningrad, 1958 ; Histoire des Sciences en Russie, t. I, 2 parties, Moscou, 1957 (jusqu'à 1860 environ) ; t. II, Moscou, 1960 (de 1860 à 1917). Ces volumes contiennent un index bibliographique des ouvrages importants ; Histoire des sciences. Ouvrages publiés en U.R.S.S. (1917-1947), Moscou-Leningrad, 1949 ; Id. (1948-1950), Moscou, 1955 (contient un index bibliographique très complet).

Ces divers ouvrages sont en langue russe et les titres cités sont les traductions françaises des titres originaux.

الفصل الثالث

الحياة العلمية في الولايات المتحدة في القرن التاسع عشر

بعد « الثورة » ، وبعد تأمين « الاستقلال » ، وجدت الأمة الاميركية نفسها تواجه جملة من المسائل طرحتها ضرورة سد الاحتياجات الداتية . خاصة بسبب الأنظمة الحصارية والضاغطة التي فرضتها انكلترا لكي تحافظ على صناعتها الخاصة ، خاصة صناعة الحديد والفولاذ ، لم تكن « اميركا » تملك أي تجهيز صناعي قوي ، وعالي القيمة . ولهذا كان من الطبيعي ، أن تتألف شركات ، منذ إنشاء الحكومة ، من أجل تطوير التقنيات والصناعة (1) .

طرح جورج واشنطن ، في أول رسالة سنوية له الى الكونغرس ، المسألة بوضوح شديد ، مشيراً الى « ضرورة التشجيع الفعال ، سواء من أجل إدخال الاختراعات المفيدة الآتية من الخارج ، أم أيضاً ، من أجل اعمال المواهب والفكر الابتكاري ، من أجل بعث هذه الاختراعات في البلد بالذات » . ان تطوير الزراعة كان يطرح مشكلة ذات أهمية مماثلة تقريباً .

فمنذ بداية تاريخها الوطني - العقود الأخيرة من القرن الثامن عشر والعقود الأولى من القرن التاسع عشر - تميزت اميركا في مجال التقنيات ، كما يثبت ذلك مثل أوليفر ايفنسن الذي نظم أول مصنع أوتوماتيكي حقاً .

بالرغم من أنه في غالبية قطاعات النشاط البشري ، كانت العقود الأولى من وجود الجمهورية الجديدة ، قد اتسمت بنهضة في الوعي الوطني ، إلا أن العلوم المحضة ، بقيت في حالة الركود - وحتى حين حرب الانفصال (1861-1865) ، كانت المحاولات المتنوعة الجارية من أجل إنشاء تنظيم علمي

(1) ان هذا العرض يحصص بصورة حصرية بتاريخ تنظيم العلم وعلاقاته الرسمية مع الحكومة . من أجل دراسة مختلف العلوم في الولايات المتحدة ، خلال هذه الحقبة ، ومن أجل تصوير المساهمات التي قدمها العلماء الاميركيون ، نُرجعُ الى الفصول المخصصة لهذا الأمر في هذا المجلد

وطني ، وفقاً لنموذج «الجمعية الملكية» اللندنية أو أكاديمية العلوم في باريس ، قد باعت بالفشل تماماً . «الجمعية الفلسفية الأميركية» (فيلادلفيا) ، و«الأكاديمية الأميركية للفنون والعلوم» (بوسطن) (راجع المجلد الثاني) لم تكن مؤسسات وطنية ؛ فقد أسست ومُؤت على أساس خاص ، فلم تكن تتمتع بأية رعاية أو دعم مالي حكومي ، ولم تكن خاضعة لأي موجب رسمي ، حتى ولو على سبيل الاستشارة .

مشروع الجامعة المركزية - منذ 1805 ، جرى نقاش كثير حول مشروع «جامعة مركزية» مزودة بمطبعاتها الخاصة ، وبمختبرات بحوث وبساتين نباتية . وكان هذا المشروع ، الذي قدمه الشاعر ورجل الدولة جويل بارلو (Joel Barlow) ، الذي كان «وزيراً» في باريس ، مستوحى في قسم منه من مثل الأكاديميات الأوروبية ، على أن تقدم هذه «الجامعة» الجوائز والمنح المهمة لتشجيع البحث العلمي ، وبذات الوقت لتلعب دور جهاز وطني للاتصال العلمي . وبالإجمال كان على «الجامعة» أن تكون باني واحد «مؤسسة تعليم علمي ، ومتحفاً وأكاديمية علوم على الصعيد الوطني» وأكمل جيفرسون فكرة بارلو ، فاقترح أن تلحق بهذه الجامعة ، المعتبرة كجهاز مركزي ، فروع تقام ، على نفس النموذج ، إنما بصورة أصغر ، عبر البلاد كلها . ووضع مشروع قانون من أجل إنشاء هذه «المؤسسة» وقدم أمام مجلس الشيوخ ، ولكنه لم يناقش أبداً . وبدوان الكونغرس قد حكم أن هذا التصميم ضخم للغاية ، ولم يفهم أن من وظائف الحكومة أن تقيم مثل هذه المؤسسة وأن تأخذها على عاتقها مالياً .

معهد كولومبيا (Columbian Institute) .. اجتمع في واشنطن ، سنة 1816 ، بتشجيع مطلق وإيحاء وجهود بارلو ، ثلاثة رجال كانوا على علاقة به هم : توماس لو (T. Law) ، جوزيا ميفس (Josiah Meigs) وإدوار كوتبوش (E. Cutbush) ، من أجل إقامة مؤسسة عرفت باسم «متروبوليتان سوسيتي» (Metropolitan Society) .

وكانوا يأملون بالحصول على الدعم الفعلي من الكونغرس ، وخاصة ، منحهم أرضاً تصلح لبستان نباتي ، وطلبوا من كل الذين يهتمون بالعلوم المساهمة في هذا المشروع الجديد ، الذي سمي بعد تمام تأسيسه ، «المعهد الكولومبي لتشجيع الفنون والعلوم» . ويدل هذا الاسم على رغبة المواطنين ، في تلك الحقبة ، بأن يرمزوا إلى العبقرية الخاصة ببلدهم . وبعض بنود النظام في «المعهد الكولومبي» توضح الأهداف العملية التي يرمي إليها :

- إن أهداف المعهد تقوم على تجميع ، ورعاية وتوزيع مختلف المنتجات الزراعية في هذا البلد وغيره . . .

- جمع ودروس المنتجات المعدنية والطوائف الطبيعية في الولايات المتحدة . . .

- القيام بالإنصالات المتعلقة بالزراعة . . .

- وضع تاريخ طوبوغرافي وإحصائي لمختلف «ولايات» أرجاء الولايات المتحدة . . .

- تعميم المعلومات ذات المنفعة العامة كل سنة . . .

وفي 20 نيسان 1818 ، حصل «المعهد» من الكونغرس على «صك امتياز» يسمح له بالحصول

على بناء ، وتملك قطعة أرض لتكون بستاناً نباتياً ، وإقامة اجتماعات علمية في مبنى مجلس النواب وبعد ذلك بستانين ، مُنح قطعة أرض صغيرة خصصت لتكون بستاناً نباتياً ، كما منح ، من أجل إقامة مركزه الدائم ، قاعة كبيرة تحت مكتبة الكابيتول في هذه الأثناء كان المعهد قد وسّع اطار نشاطاته الأساسية التي كانت مقصورة على تنمية الزراعة ، وعلى إحصاء وجدولة الموارد الطبيعية ؛ ووزع تنظيم جديد الأعضاء الى خمس طبقات : رياضية ، علوم فيزيائية ، علوم بيولوجية ، علوم أخلاقية وسياسية ، وفنون جميلة . وعلى مثال « معهد فرنسا » ، اشتمل « المعهد » بالتالي ، لا على الفروع المتنوعة للعلوم ، بل على نشاطات أخرى ثقافية . وكان رئيس الولايات المتحدة زاعي المعهد الذي شمل من بين أعضائه الفخريين ، الرؤساء القدامى الثلاثة : جون آدمس ، وتوماس جيفرسون ، وجامس ماديسون ، وكان من بين أعضائه غير المقيمين أجنب معبرين أمثال لافاييت (Lafayette) وكوفيه (Cuvier) .

ورغم أن اللائحة المهيبة بأعضائه قد تضمنت ضباطاً أعليين ، وأعضاء من الغرفة الرئاسية ، وشيوخاً ونواباً ، إلا أن « المعهد الكولومبي » لم يحقق أبداً هدفه الرئيسي . فلم يستطع أبداً اقرار برنامج واسع للمنح التي تتيح للشبان من الطبقات الأكثر فقراً في المجتمع أن يكملوا دراستهم وكذلك لم يكن أحسن حظاً في جهوده من أجل إقامة مرصد فلكي وطني . فضلاً عن ذلك لم يستطع الحصول على المال اللازم لبرنامجه من أجل إعادة النظر بنظام الأوزان والمكاييل واعتماد النظام المتري . وبسبب فقد الوسائل المالية ، لم يستطع حتى نشر محاضر جلساته أو مذكراته . من جراء هذا قل اهتمام الرأي العام به بصورة تدريجية ، مما أدى بسرعة الى اختفاء معهد « كولومبيان انستيتوت » .

ومن المظاهر الرئيسية لتأثير « المعهد » ما له علاقة « بالبيئة » الاميركية لاستكشاف الباسفيك الجنوبي ، والتي أشرف عليها الليوتنان شارل ويلكس Charles Wilkes ، أحد أعضاء المعهد . كانت هذه البيئة قد قررت ، سنة 1828 ، من قبل الكونغرس ، وقام أمين عام وزارة البحرية ، سامويل ل. سوتارد (Samuel L. Southard) ، والعصوي في المعهد ، بطلب آراء واقتراحات « المعهد » بشأن موضوع افراد البيئة ، وبرنامج البحوث ، والتجهيزات وطرق الاستقصاء . وقامت لجنة خاصة بعرض بعض المقترحات على « البحرية » وهكذا ، ولمرة واحدة على الأقل ، بخلاف تاريخه القصير ، حقق المعهد أحد الطموحات الرئيسية لأولئك الذين يريدون تقوية موقع العلم في الأمة ، أي أنه قبل كمستشار للحكومة الاميركية حول مسألة علمية .

في سنة 1835 ، لم تكن أميركا تمتلك أية مؤسسة علمية وطنية . وكانت غالبية المناقشات حول إنشاء محتمل لاجهزة علمية تخولها الحكومة تصطدم بالمسألة السياسية ، الأكثر حساسية في تلك الحقبة ، وهي التعارض بين حقوق الولايات « الدول » وحقوق الحكومة الفدرالية . وكانت هناك مسألة رئيسية تشغل الأفكار كثيراً ، هي مسألة الرق ، ولم يكن بالإمكان مناقشة مسألة المؤسسات العلمية دون الاصطدام بالواقع القائم وهو أن هذا المشروع يقوي امتيازات الحكومة الفدرالية ، على حساب اختصاصات الولايات .

هبة جامس سميثسن -- (James Smithson) -- . في سنة 1835 ، توفي عالم انكليزي من المرتبة

الثانية، جامس سميثسن، فترك نصف مليون دولار هبة للولايات المتحدة الأميركية لكي تؤسس في واشنطن تحت اسم «سميثسونيان انستيتيوشن» Smithsonian Institution، مؤسسة غايتها تقدم ونشر المعارف بين الناس. كان ولدًا غير شرعي، ولم يرب عن أبيه لقب الشرف، وهو الدوق نورثمبرلاند Northumberland؛ واعترف سميثسن بأنه يرغب أن تبقى ذكرى اسمه الخاص لمدة طويلة بعد أن تزول القاب الشرف وتنسى. وأثار اعلان هذه الوصية الهبة في واشنطن مشاعر مختلفة. كان البعض يرى أن الكونغرس غير مؤهل لتلقي هبة من هذا النوع، وآخرون كانوا يرون أن كرامة الأمة تهان بتقبل هبات أجنبية. ولكن هذه الأصوات كانت أقلية وقبيلت الأموال.

وطيلة عشر سنوات تقريباً، وحتى نهاية تنظيم معهد سميثسونيان. دار النقاش حول العديد من المشاريع تستخدم فيها هذه الأموال: إنشاء جامعة أو مدرسة للمعلمين، ومعهد للبحوث الفيزيائية، ومدرسة زراعة، ومحطة تجارب، ومرصد أو متحف وطني الخ.

المؤسسة الوطنية. - في هذه الأثناء تشكل جهاز جديد هو المؤسسة الوطنية لتشجيع العلم، وتأسست في واشنطن سنة 1840. ورغم أن هذه المؤسسة، في كثير من النواحي هي الوارثة المباشرة للمعهد الكولبي، إلا أنها كانت أقرب إلى أكاديمية العلوم في باريس، خاصة وأنها كانت تضم أعضاء عاملين وأعضاء مراسلين وأعضاء شرف، موزعين ضمن أقسام متخصصة: كيمياء، جيولوجيا، تطبيقات العلم على التقنيات، الخ. وقد نص أحد البنود على التعاون الوثيق مع الحكومة كما ذكر حرفياً أن حكام الولايات جميعاً وكل الممثلين الدبلوماسيين والقنصلين والتجارين في الولايات المتحدة هم حكماً أعضاء مراسلون للمؤسسة الوطنية، وكان المديرون المثلون للحكومة، يتألفون من كل أعضاء الوزارة، ومن بعض الشيوخ. ولم يغفل أي أمر من أجل إقامة علاقات متينة مع الحكومة.

ووضعت بعثة ويلكس Wilkes أمام مؤسسي المؤسسة الوطنية مشكلة ملحة. لقد انطلقت البعثة سنة 1838 وكان من المفترض أن تعود سنة 1841، ولم يتخذ أي تدبير لجمع وعرض المجموعة الغنية من معطيات التاريخ الطبيعي التي حصلت عليها البعثة. زيادة على هذه المشاكل التي تقتضي حلاً سريعاً، عمل المؤسسون جاهدين لكي يحصلوا على هبة النصف مليون دولار الموهوبة للولايات المتحدة من قبل ج. سميثسن. وهكذا حرصوا على التوضيح بأن من الأهداف الأساسية للمؤسسة الوطنية «تقديم ونشر المعارف بين الناس»، نص حرفي مأخوذ من وصية سميثسن، بقصد أكيد هو إظهار العلاقات الوثيقة الموجودة بين نشاطات المؤسسة والموضوع الواضح الذي تهدف إليه هبة سميثسن. بل إنهم فضلو كلمة مؤسسة Institution على كلمة معهد Institute، من أجل التأكيد حرفياً بعبارة سميثسن. وكان العديد من الشخصيات يظن أن هبة سميثسن يجب أن تدار من قبل المعهد الوطني. وفي الذكرى الأولى لتأسيس المؤسسة عقد مؤتمر علمي وطني في واشنطن وافتتح بخطاب من رئيس الولايات المتحدة جون تيلر John Tyler. وقام العديد من الخطباء بعبارة عن أملهم في أن تحصل المؤسسة على دعم الحكومة من أجل أن تكون المستودع الشرعي للمجموعات العلمية. وقد تضمنت المؤسسة بين أعضائها العاملين وعددهم 350 عضواً، وأعضائها المراسلين وعددهم 1250 عضواً، العلماء الأميركيين الرئيسيين وكذلك شخصيات سياسية مهمة، ولكن المؤسسة

الوطنية كسابقتها لم تحصل على الاعتراف الرسمي فزال من الوجود بسرعة .

المرصد البحري .- في سنة 1846 عندما تم تأسيس مؤسسة سميثسونيان كانت الحركة من أجل إنشاء مرصد فلكي وطني قد وصلت الى نهايتها . فقد أسس الكونغرس فعلاً مثل هذه المؤسسة سنة 1842 ، بشكل غير مباشر ، وذلك أثناء تشكيل مستودع دائم للخرائط وللمعدات من أجل وزارة البحرية . ومنذ 1845 أجريت فيه أرصاد ، وبعد ذلك بثلاث سنوات سمي المستودع « المرصد البحري » واحتفظ بهذا الاسم حتى اليوم .

مؤسسة سميثسونيان .- في سنة 1846 ، وبعد تأسيسها اختارت مؤسسة سميثسونيان أول مدير لها وهو الفيزيائي جوزيف هنري Joseph Henry من جامعة برنستون . وكان الاختيار موفقاً بالنسبة الى مستقبل المؤسسة ، ولكنه حرم البحث العلمي في الولايات المتحدة من الفيزيائي الوحيد المتفوق ، بين بنيامين فرنكلن وحقة هنري آ. رولند Henry A. Rowland . كتب هنري بنفسه يقول : « لما كنت في هذه الحقبة قد قمت بسلسلة من البحوث الأصلية فاني لم أحب في بادئ الأمر قبول هذا العرض [بأن أصبح مديراً] ... » وقل لأنه كان المرشح الوحيد المؤهل علمياً ، وكان يعتقد أن مدير مثل هذه المؤسسة يجب أن يكون رجل علم .

« وكتب هنري يقول : وظننت أنني أستطيع ترك هذا المركز [بعد أن يتم تنظيم المؤسسة] ، ثم العودة الى مركزي السابق في كلية نيوجرسي [مرستون] من أجل معاودة بحوثي العلمية . ولكن أملي خاب في هذا مع الأسف » .

وتاريخ مؤسسة سميثسونيان يثير الإعجاب ، ومشوراتها المستعملة من قبل علماء العالم كله ، تشهد لها بصوابية آراء هنري . ومع ذلك فمن المؤكد لدينا كما لدى هنري بالذات أن مؤسسة سميثسونيان « لم تكن مؤسسة وطنية بل هي مؤسسة فردية » ؛ ولهذا فهي تحمل اسمه . وحكومة الولايات المتحدة ، كما يوضح هنري « هي مجرد مشرف مكلف بتحقيق مشروع الموصي » . من هذه الجهة ، ورغم وجود مؤسسة علمية داخل الحكومة بعد سنة 1846 ، فإن غط الأكاديمية الوطنية أو المؤسسة الوطنية لم يتحقق ، كما كان يتخفى البعض ، وفقاً لنموذج أكاديمية العلوم في باريس أو لنموذج « الجمعية الملكية » في لندن .

جودة الموارد الطبيعية .- عدا عن هذه الرغبة في رؤية تأسيس أكاديمية وطنية ، كان من المطامح الرئيسية عند العلماء الأميركيين ، إنشاء « إتحاد وطني » . وتم تنظيم هذا الاتحاد انطلاقاً من جمعية من الجيولوجيين . وليس من المستهجن أن تكون الجيولوجيا ، مثل التاريخ الطبيعي ، في بلد كالولايات المتحدة ، أحد العلوم الأكثر تقدماً . وبمقدار ما كانت حدود البلد تنتقل نحو الباسيفيك ، كانت أراضي واسعة ما تستلحق ، وفي كل منها نباتات وحيوانات وتكوينات جيولوجية خاصة . وشجع الاهتمام بالموارد الطبيعية البحوث الجيولوجية ، وفي العديد من ولايات الاتحاد ، عرفت بداية القرن التاسع عشر تحقيق كشوفات جيولوجية كان بعضها يتضمن أبحاثاً وملاحظات تتعلق بمختلف فروع الزراعة والتاريخ الطبيعي . في سنة 1840 ، كان قد تم وضع سبعة عشر كشفاً جيولوجياً متنوعاً ، وكان أول كشف قد وضع من قبل ولاية ماساشوست ، قبل عشر سنوات فقط .

نشأة الجمعية الاميركية . - منذ سنة 1819 ، تأسست « الجمعية الجيولوجية الاميركية » في يال ، وتبعتها ، سنة 1834 ، الجمعية الجيولوجية في بنسلفانيا . ونفس السنة ، اعترفت الحكومة الاميركية رسمياً بأهمية الجيولوجيا فكلفت ج . و . فيذرستيف بتحقيق - تحت اشراف وزارة الحرب - الكشف الجيولوجي والمعدني لمنطقة جبال أوزارك . وفي سنة 1840 ، تأسس « إتحاد الجيولوجيين الاميركيين » . وبعد ذلك بقليل ، قبلت هذه الجمعية بين أعضائها علماء طبيعة من مختلف الاختصاصات ، فأنحى المجال بهذا أمام تنظيم « الإتحاد الاميركي لتشجيع العلم » المخصص « ليجمع كل الذين يعملون في مجال العلوم الفيزيائية والطبيعية » . وتم اجتياز المرحلة الأخيرة سنة 1848 ، وقرر « الإتحاد الاميركي » أن ينظم بصورة دورية اجتماعات في مختلف مدن الولايات المتحدة ، من أجل نشر العلوم فوق كل أراضي الوطن . وكان يرغب في إقامة اتصال بين المتخصصين في مختلف فروع العلم ، من أجل « إعطاء دفعة أقوى وأعم ، وكذلك إعطاء توجيهات أكثر منهجية للعالمين العاملين في بلدنا ، ثم تأمين تسهيلات متزايدة وإنتاج أفضل للأعمال العلمية » . وارتفع العدد من 461 ، سنة 1848 ، الى 862 سنة 1859 . وجهد « الاتحاد » أيضاً في إنشاء « أكاديمية وطنية للعلوم » ، وحاول حل الحكومة على اتخاذ إجراء رسمي من أجل الاعلام العلمي ثم الحصول منها على مساعدة فدرالية من أجل الانجازات العلمية .

وكانت الشخصية التي لعبت الدور الاساسي ، أثناء المساعي المتخذة من أجل تأسيس « أكاديمية وطنية للعلوم » هو الكسندر دالاس باش (Alexander Dallas Bache) ، حفيد فرانكلين ، مدير المصلحة الهيدروغرافية [المسح المائي] ، ومؤسس أول مرصد مغناطيسي في أميركا ، في « كلية جبرار » (فيلادلفيا) . في خطابه الرئاسي في المؤتمر السادس « للإتحاد الاميركي » ، المعقد في الباني سنة 1851 ، ركز باش على أهمية مؤسسة علمية وطنية تقام في إطار الحكومة الفدرالية ، باسم « الأكاديمية الوطنية للعلوم وفقاً للنموذج الغربي » .

قال بهذا الشأن : « طالما بقي العلم غير منظم ، فإنه يبقى بدون سلطة . ان بلدنا يتقدم تقدماً كبيراً في غوه المادي بحيث يستحيل على المؤسسات التشريعية أو التنفيذية في الحكومة أن تتفادى أن تكون معنية مباشرة ، وبشكل من الأشكال ، بقرارات أو بمشاكل تتطلب معارف علمية » .

الانجاز التقني في حرب الانفصال . - ان « الأكاديمية الوطنية للعلوم » في الولايات المتحدة قد تأسست سنة 1863 ، أثناء حرب الانفصال . وغالبية الاختصاصيين اعتبروا هذه الحرب وكأنها مرحلة مهمة في تاريخ التقنية العسكرية ، بفضل الأهمية والدور الضخم الذي لعبته فيها بعض التجديدات العلمية والتقنية . وهذا الحدث قد دلّ عليه العديد من المراقبين الأتئين من السويد ، ومن فرنسا وابتكلترا وبروسيا . من بين هذه التجديدات ، التي أدخلت لأول مرة ، بخلاف هذه الحرب - على الأقل على مثل هذا المستوى الواسع ، أو يمثل هذه الفعالية - يمكن أن نذكر الاستعمال العسكري للسكة الحديدية وللنفراف ، وللمصوب التسكوي ، وللسفن المدرعة أو المصفحة ، وأبراج الاطلاق الدائرة ، والأسلحة المحمولة ذات التعبئة السيطانية ، والرشاشات ، وسيارات الاسعاف ، والخدمات الطبية الريفية ، وبالونات الرصد والتصوير الفوتوغرافي ، والفواصات ، والغازات السامة وقاذفات اللهب واستعمال الأطعمة المركزة ، واللباس الموحد ، والأحذية المصنوعة

على الآلات . ولما كان جوزيف هنري العالم الأكبر ذا الاتصال مع المصالح الحكومية ، فقد أصبح أحد المستشارين الرئيسيين التقنيين للرئيس لينكولن .

إنشاء الأكاديمية الوطنية . - وأنشئت على عجل لجنة علمية ونقبة لدى وزارة البحرية رأسها الاميرال شارلس هنري دافيس Davis (الذي نشر الأحداث اليومية الاميركية والروزنامة المائية وترجم الى الانكليزية كتاب غوس نظرية تحرك الاجسام) ، وتضمنت هذه اللجنة أيضاً جوزيف هنري والكسندر دالاس باش . ونجح هؤلاء الرجال الثلاثة يعاونهم آخرون من بينهم لويس أغاسيز في تقديم مشروع قانون الى مجلس الشيوخ الذي صدق عليه باعتباره تدبيراً حريماً . وأخيراً تم تحقيق هذا الحلم وهو تأسيس جهاز في الولايات المتحدة يشبه أكاديميات باريس ولندن . ومن بين المسؤوليات الخاصة بالأكاديمية ، كانت وما تزال مسؤولية « الاجابة على كل طلب يقدمه جهاز حكومي من أجل دراسات أو فحوص أو تجارب أو من أجل وضع تقرير حول كل موضوع علمي أو تقني ؛ أما التكاليف اللازمة لهذه الأعمال فتدفع من مخصصات خاصة دون أن تتلقى الأكاديمية أية مكافأة لقاء الخدمات المؤداة على هذا الشكل الى حكومة الولايات المتحدة » .

وجاء آ . باش الذي كان أول رئيس ، بعد جوزيف هنري الذي أصر على عدم قبول أي عضو غير أولئك « الرجال الذين تميزوا ببحوثهم الاصلية » ، والذين « استحقوا هذا التمييز باكتشافات من شأنها توسيع حقل المعارف » . وكان الانتساب إلى الأكاديمية شرفاً عظيماً ، ومن جراء هذا ، كان حافظاً الى البحث العلمي ، وحيا هنري تأسيس الأكاديمية « باعتبارها مرحلة في تاريخ الميول السياسية في بلدنا . وقال أن تأسيسها يدل على أول اعتراف رسمي بأهمية العلوم المحضة ، كعنصر أساسي في التقدم الفكري والمادي . . . » .

وهكذا في نهاية حرب الانفصال كان للولايات المتحدة أكاديمية وطنية للعلوم وانعقاد لتقدم العلم وفي العقود التي تلت الحرب زاد عدد العلماء المتفرغين بشكل سريع كما يدل على ذلك الجدول المتضمن عدد أعضاء الإتحاد الاميركي :

1860 ← 644 عضواً

1870 ← 536 عضواً (وهذا النقص سببه حرب الانفصال : 1861- 1865) .

1880 ← 1555 عضواً

1890 ← 1944 عضواً

1900 ← 1925 عضواً

1910 ← 1950 عضواً .

إنجازات الرياضيين الاميركيين . - وكإشارة أخرى على تطور العلوم في أميركا بخلال هذه الحقبة ، يمكن أن ننظر أيضاً الى فرع متخصص في البحث العلمي ، هو فرع الرياضيات مثلاً . بخلال النصف الأول من القرن التاسع عشر كان البحث الرياضي شبه معدوم في أميركا . وظهرت بدايته ، المتواضعة مع ثنائيل بوديتش الذي نشر ترجمة لكتاب لابلاس « ميكانيك السماء » مقروناً

بملاحظات تفسيرية كما نشر كتاباً موجزاً بعنوان الملاح العملي الاميركي . وكان بنجامين بيرس استاذاً للرياضيات في جامعة هارفرد واحدمؤسسي الأكاديمية الوطنية للعلوم ، وكان بحق الرياضي الاميركي الأكثر أصالة خلال الحقبة التي سبقت حرب الانفصال . وكان عمله الأساسي كتاب الجبر الخطي التجميعي (Linear Associative Algebra) (1872) وقد تناول فيه موضوعاً لم تعرف أهميته الحقيقية إلا حديثاً . وبعد حرب الانفصال عرفت الرياضيات الاميركية عدة ممثلين من ذوي القيمة أمثال : جورج و. هيل الذي قدرته أعماله حول المسألة المحصورة بثلاثة أجسام تقديراً عالياً وعالياً ، ومنهم سيمون نيوكومب الذي عرفت اكتشافاته المهمة في مجال علم الفلك الرياضي وفي النظرية البعامة للانحناء في العالم أجمع ؛ ومن بينهم ، الأعظم بين الجميع جوزيا ويلارد جيبس الاستاذ في جامعة يال الذي كانت أعماله حول التحليل الاتجاهي أو السهمي والميكانيك الاحصائي ، في أساس الفيزياء النظرية الحديثة .

وكانت أول جمعية رياضية - خارج مجموعات الاحصائيين - هي الجمعية الرياضية النيويوركية التي أسست سنة 1888 ، ووسعت ملاكها بعد ثلاث سنوات لتصبح الجمعية الاميركية للرياضيات . ومن (210) أعضاء عدد التأسيس أصبح العدد 706 سنة 1914 ، وهو عدد ارتفع منذ ذلك الحين إلى عدة آلاف . وكانت أول مجلة اميركية متخصصة بشر الأعمال الرياضية الأصلية هي المجلة الاميركية للرياضيات وقد أسستها جامعة جونز هوبكنز سنة 1878 .

تطور التعليم العلمي العالمي . - ان أحد المظاهر الأبرز في الحياة العلمية في اميركا بخلال القرن التاسع عشر هو تطور مؤسسات التعليم العالي بخلال النصف الثاني من القرن . حتى سنة 1840 لم يكن في الولايات المتحدة أي مؤسسة تستحق اسم جامعة وفي سنة 1847 أنشئت مدارس علمية في يال وفي هارفرد ، لغاية خاصة هي تكوين المهندسين وهي مهمة كان يقوم بها حتى ذلك الحين ، وبالنسبة الى عدد قليل من الطلاب « معهد رانسيلر البوليتكنيك » (وكان مستواه متواضعاً) ثم الأكاديمية العسكرية للولايات المتحدة في ويست بوينت . وأحد أساتذة يال كان ب . سيليمان جونيور الذي كان أبوه قد أسس « المجلة الاميركية للعلوم والفنون » .

وكان من بين أعضاء الجسم التعليمي في هارفرد عدة من العطاء في العلم الاميركي في القرن التاسع عشر : ومنهم اساغراي صديق ومكاتب شارل داروين ومنهم أيضاً بنيامين بيرس وقد سبق ذكره ثم الملكي وليم غرانث بوند وهو أحد الطليعيين في الفوتوغرافيا العلكية ، واس نورتون هورسيفورد Eben Norton Horsford ، وهو تلميذ نابغ عند ليبينغ في جيسين . الى هذه المجموعة انضم سنة 1844 عالم الحيوان الشهير علمياً لويس أغاسير أتيا من سويسرا . إلا أن مثل هذا التجمع للشخصيات الاستثنائية لم يستطع أن يخلق مناخاً ملائماً للثقافة العالية وللبحث العلمي مماثلاً للمناخ الذي كان سائداً في بعض مراكز أوروبا . وكان من الواجب من أجل ذلك انتظار تأسيس جامعة جون هوبكنز ، وهي أول مؤسسة تعليمية مشاة وفقاً للنموذج الأوروبي ومغصصة بشكل خاص للتعليم العالي وللبحث .



في أواخر القرن ، كان توسع الولايات المتحدة نحو الغرب قد انتهى وكانت الولايات المتحدة

مزودة بتنظيمات علمية ومنشآت تعليمية عالية . وأخذت البلاد تنتج العلماء من المستوى العالمي . وأصبح بالإمكان تبين ضخامة جهودها العلمية اللاحقة . إن رجال العلم واجهوا بتفاؤل هذا القرن العشرين حيث أخذت قوى أميركا تظهر في مجال العلم الخالص والفكر التجريدي ، بالفضخامة التي عرفتھا في القرن التاسع عشر في مجال الاختراعات التقنية والتطبيقات العلمية.

مراجع الفصل الثالث

D. H. FLEMING, *A social history of science in America* (3 vol., Boston, à paraître); A. H. DUPREX, *Science in the federal government, a history of policies and activities to 1940* (Cambridge, Mass., 1957); G. B. GOODE, [Une collection de ses études sur le développement de la science en Amérique au XIX^e siècle], *A memorial of George Brown Goode* (Smithsonian Institution, *Annual Report for 1897*, Rep. U.S. Nat. Mus., Part 2, Washington, 1901); I. B. COHEN, Some reflections on the state of science in America during the nineteenth century (*Proc. Nat. Ac. Sc.*, 45, 666-77, 1959); *IBID.*, American physicists at war. 1. From the Revolution to the World Wars; 2. From the First World War to 1942 (*Amer. J. Phys.*, 13, 223-35, 333-46, 1945); M. E. PICKARD, Government and science in the United States (*J. Hist. Med.*, 1, 254-89, 446-81, 1946); R. S. BATES, *Scientific societies in the United States*, New York, 1945; F. W. TRUE, *A history of the first half-century of the National Academy of Sciences, 1863-1913*, Washington, 1913; P. H. OCHSER, *Sons of science, the story of the Smithsonian Institution and its leaders*, New York, 1949; G. P. MERRILL, *Contributions to the history of American geology* (U. S. Nat. Mus., *Annual Report for 1904*, Washington, 1906); *IBID.*, *Contributions to a history of American state geological and natural history surveys* (U. S. Nat. Mus., *Bul. 109*, Washington, 1920); A. D. RODGERS III, *John Torrey, a story of North American botany*, Princeton, 1942; A. H. DUPREX, *Asa Gray, 1810-1888*, Cambridge, Mass., 1959.

الفصل الرابع

العلم في البلاد الإسلامية ابتداء من سنة 1450 حتى القرن الثامن عشر

١ - الظروف العامة لنمو العلم

إن نظرة سريعة على تاريخ العلم في البلاد الإسلامية عبر العصور تعرفنا بأن علماء الاسلام كانوا من غير العرب في معظمهم ، وخلال الحقبة الممتدة من القرن الثامن حتى القرن التاسع وانهم نقلوا الى العربية معظم روائع علم الأقدمين ، وعن اليونانيين بشكل خاص .

إن اللغة العربية كانت أداة النقل شبه الوحيدة للعلم في العالم المتحضر حتى القرن الحادي عشر . وعلماء الاسلام ، مسلمون ومسيحيون ويهود ، ظلوا أمراء العلم حتى القرن الثالث عشر ، ولكن التراجمه بدأوا منذ القرن الحادي عشر حتى القرن الثالث عشر ينقلون الى اللاتينية « روائع العلم العربي » .

وإذا كان علم أوروبا المسيحية ، منذ القرن الرابع عشر - الذي اتخذ قاعدة له هذه الترجمات عن العربية ، والتي جرت بشكل خاص ، في سالرنو Salerne وفي طليطلة - سوف يعرف تطوراً متزايداً ، فإن العكس حصل بالنسبة الى العلم في العالم الاسلامي .

إن العلوم الصحيحة لن يكون لها ممثلون يستحقون الاهتمام باستثناء أولغ بك (Ulugh Beg) ومجموعته في سمرقند . وفي مجال العلوم الطبيعية ، نجب الإشارة الى دراسة نباتية مهمة وضعها « المغربي » . أما العلوم الطبية ، فإن داود الانطاكي سوف يكون « آخر ممثل للحقبة العربية حيث أقفل بكرامة مصائرهما » (ل. لوكيرك) والجغرافية قد تمثلت بشكل خاص بليون الافريقي « الذي يجب أن يعتبر ، بعد ابن بطوطة (القرن الرابع عشر) - ولكن قبل الرحالين الكبار ، بكثير ، في أواخر القرن الثامن عشر والتاسع عشر - أحد أوائل المستكشفين لافريقيا » . والجدول الاحصائي للعلم العربي سوف يوضع في القرن السابع عشر من قبل حاجي خليفة في كتابه « كشف الظنون » .

ما من شك أنه رغم المصائب والنواب الزمنية كالحروب الصليبية ، والغزوات المغولية والحروب الداخلية ، كانت هناك حياة علمية ، وإن تكن أقل هاءً مما كانت عليه في العصور السابقة ، مستمرة في البلدان الإسلامية .

هذه الحياة العلمية عُبر عنها بشكل رئيسي ، بكتب باللغة العربية ، على الأقل حتى القرن الثامن عشر . وإلى جانب هذه اللغة نشر ، إلى أوجه استعمال اللغات الوطنية : التركية والفارسية استعمالاً كان يتزايد مع الزمن . فنرى فعلاً أنراكاً وفرساً يكتبون باللغة العربية ، ورجالاً لغتهم الأم هي العربية يكتبون بالتركية أو الفارسية . وقليلًا قليلًا أخذت الانطلاقة تتوضح . لقد كُتِبَ الكثير عن تاريخ العلم عند الأتراك العثمانيين . وبعض المؤلفين طرحوا على أنفسهم السؤال التالي : إلى أي مدى كان العلم باللغة العربية أو الفارسية من صنع علماء من أصل تركي . إن مسائل الأعراف ، في دراسة تاريخ العلم ، في البلاد الإسلامية ، تجعل هذه الدراسة معقدة للغاية ، ولا تقدم شيئاً مهماً لهذا المجال الذي يهتم بشكل خاص بدراسة التقدم الذي يمكن أن يستفيد منه الناس .

إننا سنتفادى مثل هذه المناقشات التي تبدو لنا نافلة والتي قد تثير مجادلات لا نلحق بالبحث العلمي . إن جنس العالم قليل الأهمية وكذلك دينه . إن دراسة العلم في العالم الإسلامي تصيح مستحيلة التحقيق إذا تدخلت فيها مثل هذه العناصر . في هذه السلا ، ذَوْن العلماء ، في بادئ الأمر ، نتائج تجاربهم باللغة العربية ، يعاونهم في ذلك رعاة للعلم من المسلمين . وهذا ما أتاح الكلام عن « الحقبة العربية » أو عن الحقبة الإسلامية ، التي يقف بها مؤرخو العلوم عادة عند القرن الثالث عشر . وفيها بعد ، استمر علماء مسلمون ، من أعراق متنوعة يكتبون باللغة العربية ، في حين أخذ آخرون يستعملون ، على الأقل جزئياً ، لغاتهم الأم .

إن العلم في العالم الإسلامي ، المعبر عنه في اللغات المتنوعة ، كان محكوماً بحدثين : الإرث العربي من القرون الوسطى ثم الميل إلى الاعتناء ، بفضل الترجمات ، بمعارف أوروبا المسيحية .

فضلاً عن ذلك أن تأثير الترجمات التي حصلت نقلاً عن العربية بقيت مهمة حتى القرن السادس عشر في الجامعات الأوروبية . إن التأثير الذي أحدثه العرب قد برز في كل فروع الحضارة ؛ فمنذ القرن التاسع حتى القرن الخامس عشر تكوّن وازدهر أحد أوسع الآداب التي كانت معروفة ، في ذلك الحين . وتشهد الاختراعات الثمينة الكثيرة العدد على النشاط المدهش للأفكار في تلك الحقبة ، وظهر تأثيرها على أوروبا المسيحية مما يبرر القول بأن « العرب كانوا في كل شيء أساتذتنا ومعلمينا » (ل . أ . سيدويل L. A. Sédillot) .

ولكن العلم الأوروبي أخذ يتحرر بصورة تدريجية من النظام العلمي الإسلامي الذي تمثّل الثقافة القديمة من فارس والتراث الكلاسيكي الإغريقي ، مكيفاً كلاً من الاثنين لاحتياجات العرب الخاصة ، ووفقاً لأسلوبهم الشخصي في التفكير .

ودون أن نذهب إلى القول « بأن معاصرنا من المسلمين ، لو لم يكن لديهم ، كي ينتفعوا ، إلا كتبهم الخاصة ، فانهم سيكُونون بالتأكيد أقل علماً من أهلهم في الدين من القرن الحادي عشر » ، فإنه لا يمكننا أنكار الدور المتزايد القوة الذي يلعبه علم « البلدان ذات المستوى العالي » ، في حياة المسلم

اليوم . لقد استُعملت عدة طرق لقطع العلاقة بالماضي وتراثه اللذين حفظا الفكر العربي في اربطة بدأ اليوم فقط يتحرر منها (فيليب . ك . حتي) .

ويتيمز القرن الثامن عشر بدخول العلم الأوروبي . وقامت بعض البلدان بإجراء ترجمات : وكانت تلك هي حال مصر بشكل خاص ، أيام محمد علي ؛ وهناك آخرون استعانوا بالرجال الأوروبيين . من ذلك أن الألماني بولاك ، والطبيب الفرنسي العسكري تولوزان Tolozan وكذلك شليمير Schlimer كتبوا كتباً أصيلة كل في مجاله . أما العلم التقليدي فلم ينس في هذه النهضة : وفي الهند خصوصاً تمت ترجمات واصدارُ نصوص عربية قديمة

تدهور العلم العربي وأسبابه - في المجالات العلمية ، بعكس ما حصل في أوروبا ، كانت حقبة القرون الوسطى هي المشعة في العالم العربي . وبالعكس شاهدت الأزمنة الحديثة تدهوره وتأخره ، أما في الحقبة المعاصرة - خاصة السنوات الأخيرة - فتشهد البلاد الإسلامية ، انطلاقاً جديدة تتميز بالرغبة الأكيدة من أجل اللحاق بالبلاد ذات المستوى المرتفع ، في المجال العلمي .

وكان هذا ضرورياً جداً ، إذ ، ابتداءً من القرن الخامس عشر ، أخذت « التعويذة » تحل محل الأدوية ذات الصبغ المعقدة ، الموصوعة سداً للتحرية . علم الفلك اتخذ مكانة متزايدة الأهمية . وضيق الشعوذة الحناق على المشاهدة والاختبار .

وحول أسباب هذا التراجع ، ضاع المؤرخون في الافتراضات . ونحن سنعرض بعض الأسباب المقدمة لتفسير هذا الرقاد الفكري ، الذي أخذ العلم العربي يفتق منه بصعوبة . فقد سبق لأجزاء من العالم الإسلامي أن تلقت في أواخر القرون الوسطى ، هجوم الصليبيين الأتئين من أوروبا للاستيلاء على قبر المسيح في القدس ؛ وقامت اضطرابات داخلية تلقي الفوضى في الامبراطورية التي تلقت أيضاً الهجمة المغولية . وفي اسبانيا استطاع المسيحيون اخيراً طرد المسلمين من أوروبا .

1 - الحروب الصليبية - ان النداء الذي وجهه سنة 1094 م ، الامبراطور البيزنطي الكسي كومنين - الذي غزا ممتلكاته الآسيوية الأتراك السلجوقيون ، حتى شواطئ بحر مرمرة - الى البابا أوربان الثاني ، قد أثار من جانب هذا الأخير الخطاب الذي جر وراءه أوسع العواقب في كل تاريخ البشرية « (ف . ك . حتي) . ان هذا النداء دفع المسيحيين الى التوجه نحو طريق القدس (حيث قبر المسيح) . ولكن بعد حقبة من الاستيلاء المسيحي ، جاءت ردة فعل المسلمين ، التي كان أبرزها انتصارات صلاح الدين . وبعد حقبة من الحروب الأهلية ، اضطّر آخر الصليبيين الى إخلاء سوريا سنة 1291 .

2 - المغول - تلقى الشرق الإسلامي أيضاً الهجمة المغولية . في أواخر القرن الثاني عشر ، قام زعيم بدوي هو جنكيز خان بسلسلة من الفتوحات طورها خلفاؤه حتى شكلوا أوسع امبراطورية عرفها العالم : (شملت الصين وفارس وسيبيريا الجنوبية وروسيا الحنوية ، وأوكرانيا) . وفي سنة 1258 ، استولى خان المغول في فارس على بغداد ، وأوطأ الخليفة سنابك خيله . ثم جاء دور بلاد ما بين النهرين العليا وحلب ودمشق وفلسطين وفيها اصطدم المغول بالمقاومة المصرية . وخضعت المدن المفتوحة الواحدة تلو الأخرى وبصورة منهجية للذبح ثم للنهب ثم للإحراق .

وهكذا دمرت المراكز العلمية مع كل المكتسبات « بل كل كتاب تقريباً ، لأن المغول كانوا يُعادون

كل ما هو مكتوب ، خشية ان يسجد القرآن ، الكتاب المقدس في الاسلام » (مايرهوف)
(Meyerhof) .

ونجت مصر من هذا التخريب المنهجي ، مما أتاح لهذا البلد أن يبقى بعض الوقت مركزاً علمياً . ثم ان « الظروف الجغرافية الخاصة وعزلتها أجبرت [مصر] أن تتمسك بالتراث ، وبذات الوقت جعلتها أكثر قدرة على الدفاع عن استقلالها أو استعادته . ولم يعد للعلوم والآداب بعد الآن من مأوى إلا مصر وسوريا المجتمعين ، لمدة طويلة ، تحت نفس الصولجان » (ل. لوكليرك L.Lecterc) .

وفي الغرب المسلم ، لعبت افريقيا الشمالية دور الملاذ لعلم اسبانيا المسلمة . ففي القرن الثالث عشر ، استعاد الاسبانيون والبرتغاليون المسيحيون وبسرعة القسم الأكبر من شبه الجزيرة الإيبيرية (قرطبة سنة 1236 ، واشيلية سنة 1248) . ولم تبق الا منطقة غرناطة التي استعادها الملوك الكاثوليك سنة 1492 . وانتسب العلم العربي يومها الى افريقيا الشمالية وخاصة الى مراکش

لقد أوقف المصريون الهجوم المغولي بفضل وصول الماليك الى الحكم (1259) . ووصول هذه المجموعة من الارقاء الى الحكم ، وكانوا بدون ثقافة وبدون تراث إداري ، لكان أدى إلى أسوأ النتائج لو أن العرش لم يقع عقب الهزيمة المغولية « بين يدي إحدى الشخصيات الأقوى التي عرفها الاسلام وهو بيبرس » .

وعرفت بداية القرن السادس عشر (1517) انهيار هذه السلالة واقامة خلافة جديدة في إنغا غير عربية هذه المرة ، هي خلافة الاتراك العثمانيين . ان الدولة التركية التي بقيت في القرن الخامس عشر محصورة في الأناضول والبلقان ، سوف تعرف حقبة من التوسع بعد الاستيلاء على سوريا ومصر ، وعلى بغداد والعراق من أيدي الفرس ، وعلى رودس من أيدي الرهبان المضيفين (Hospitaier) . ثم أخضعت هنغاريا واليمن وأقامت لها مراكز عسكرية في تونس والجزائر .

اللغة النافذة للعلم في البلاد الاسلامية . - من القرن الثامن حتى القرن الثالث عشر ، يمكن الكلام ، مع بعض الفروقات ، عن حقبة عربية في تاريخ العلوم : وإذا لم تكن هناك وحدة في العرق ولا وحدة في الدين بين علماء هذه الحقبة ، كانت هناك ، بالتأكيد وحدة في اللغة تصاف الى وحدة الدين مع رعاة العلم وحماته . فالأمراء والوزراء وحتى الأغنياء أيضاً من التجار المسلمين كانوا يتنافسون في حماسهم من أجل ترجمة روائع العلم القديم ، في بادئ الامر ثم فيما بعد من أجل تقدم العلم وكان في خدمتهم من أجل هذا علماء مسيحيون ويهود ومسلمون وحتى زرادشتيون . ولكن هؤلاء العلماء المختلني المذاهب والأعراق قد كتبوا جُل أعمالهم باللغة العربية .

لقد أعلن البيروني ، ولغته الأم الفارسية ، ان العلوم قد نقلت بفعل الترجمة الى اللغة العربية ؛ وهي قد ازدادت بها جمالاً .

ثم انه أكد أيضاً أنه يفضل « الشئمة باللغة العربية على المديح باللغة الفارسية » .

واعترف عدنان (Adnan) [مؤرخ تركي] ، وهو يتكلم عن التعليم في المدارس التركية ان كل الكتب الكلاسيكية كانت كلها بدون استثناء تقريباً باللغة العربية . وإذا فقدت كانت مهمة المدارس

الأولى لتعليم الطلاب اللغة العربية ، التي ظلت ، كما يقول ، حتى القرن الثامن عشر ، لغة العلوم الوحيدة في تركيا . ويقول نفس المؤلف أيضاً أن « حاجي باشا في مقدمة كتابه « تسهيل الشفاء » اعتذر لأنه كتبه بالتركية بدلاً من العربية ، لأن العربية ، كما يقول ، كانت لغة العلم الوحيدة في تركيا ، كما كانت اللاتينية في الغرب » .

ولكن إذا كانت اللاتينية ، قد أدخلت المكان بصورة تدريجية أمام اللغات الوطنية ، لكي تزول تماماً ، فإن اللغة العربية بقيت اللغة الوطنية لقسم كبير من العالم الاسلامي . وعندما استعادت فارس استقلالها . أصبحت اللغة الفارسية بصورة تدريجية اللغة العلمية في هذا البلد . كما يقول لوسيان لوكسرك الذي حرص على القول : « ان الأدب » باللغة العربية » ، أخذ يتراجع بصورة متساقطة ، واستمرت فارس المسلمة تكتب بلغتها الخاصة . وبشكل مختلف ، ظل دوماً نفس الأساس العلمي سائداً . وعن طريق الفارسية دخل الطب العربي الى الشرق أكثر مما فعل أيام ازدهاره .

II - نظرة حول التقدم الذي حققه علماء الاسلام

لقد كان العلم الحديث والمعاصر ، في البلدان الاسلامية ، موضوع احكام قاسية ، وغالباً مهينة . فعندما تكلم رينود Renaud عن العلماء المسلمين زعم انه لا يوجد الا « جمعون » ، كان مهمم كما يقول ، التركيم والمزج والتكويم ؛ « لقد التهموا المستندات السابقة ، ولم يعضوها ؛ وما التهموه بقي كإملا صحيحاً في معدتهم ؛ وبإمكانك أن تحب منه قطعاً » . . .

وإذا كان من المؤكد أن التجميعات الذكية نوعاً ما ، والمخلاصات الشعرية أو الشريفة ، والشروح ، تشكل غالبية الكتب العربية في هذه الحقبة ، إلا أنه من غير المنكور أن بعض المؤلفات تمتاز بأصالة كبيرة ، وتشكل تقدماً حقيقياً بالنسبة الى علوم زمنهم .

وسوف نتناسى الآن . بيعات والكتب التي تفتقر الى الأصالة ، وسوف نستعرض بعض هذه المؤلفات التي عملت على تقدم العلم .

العلوم الحقة .- في مجال العلوم الحقة ، ورغم عوادي الزمن ، انتجت البلدان الاسلامية ، على الأقل بخلال القرن الخامس عشر ، أعمالاً ذات قيمة لا جدل حولها . ان هذا القرن كان محكوماً بأعمال مجموعة « أولوع بك » ، هذا الأمير الذي لقي نجاحاً في المجال الثقافي أكبر من نجاحاته في السياسة والحرب .

لقد ارتقى الى عرش التيموريين بعد أن حكم خراسان ، ومازاندان ثم تركستان ثم ترانزوكزيان [بلاد ما وراء النهر] ثم جعل من سمرقند « مركز الحضارة الاسلامية » (ر. غروسست R. Grousset)

كان يحفظ القرآن عن ظهر قلب ، وحمى الشعراء وكتب تاريخاً . ودفعه ذوقه الفني الى بناء العديد من الأبنية ، ومنسك له هو أعلى قبة في العالم ، وجامع بزيئة داخلية صينية ، وخاصة مرصده الذي اعتبر إحدى عجائب الدنيا .

وكان غياث الدين جشيد الكاشي أول مدير لهذا المرصد . وتكلم هذا العالم عن الكسور العشرية وجدواها في كتابه « مفتاح الحساب » بقرن ونصف قبل ستيفن Stevin الذي أذاعها بشكل

منهجي سنة 1585 في كتابه « العشري » (Disme) .

أما قاضي زاده الرومي فولد سنة 1337 في بروسه Brousse ، وترك مسقط رأسه وسكن في سمرقند حيث تولى الإشراف على مدرستها . وخلف غياث الدين جشيد كمدير للمرصد .

وخلف علي القوشي قاضي زاده كمدير للمرصد . وبعد موت « أولوغ بك » ، ذهب القوشي الى أفريجان . وأرسله أميرها كسفر الى القسطنطينية [اسطنبول] ، حيث عينه محمد الثاني استاذاً لمدرسة القديسة صوفيا [أيا صوفيا] . وهكذا أصبح أول أستاذ لعلم الفلك والرياضيات في تركيا .

واشتغل أولوغ بك ومجموعته في سمرقند التي كان تيمورلنك قد سبق وأعدّها لتكون أكبر مركز ثقافي ، اجتذباً إليها رجال العلم والفنانين المشهورين . وأنشأ فيها أكاديمية للعلوم . وتبع ابنه شاه روخ مثله ، فأنشأ مكتبة فخمة ، واستغل علاقاته مع أهم ملوك عصره للحصول على المخطوطات النادرة والأعلى قيمة (سديوت Sédiot) . ولكن أولوغ بك ، ابن شاه روخ وحفيد تيمور ، هو الذي جعلها أكثر شهرة بمرصده ، حيث كان يعمل فيه أكثر من مئة شخص . وكان هذا البناء الرائع بارتفاعه ، مبنيًا فوق هضبة كوهيك ويتألف من ثلاث طبقات . وفيه وضعت الجداول [الأزياج] الفلكية الشهيرة التي استعملت ، كما يقول سديوت في كل أنحاء العالم .

كتبت هذه الجداول لتصحيح حسابات بطليموس حول الأعياد ، والتي كانت تتناقض مع الارصاد الجديدة . تضمن هذا المؤلف ، عدداً عن المقدمة ، مختلف الحسابات الطقوسية والعصور ومعرفة الزمن ، ومجرى الكواكب ، ومواقع النجوم الثوابت .

وأهمية هذه الجداول تدل عليها الأعمال التي أجريت عليها ، خاصة من قبل جون غريفيس (John Greaves) استاذ في أوكسفورد (لندن 1652) ، وقدم هايد Hyde عنها ترجمة لاتينية (أوكسفورد 1665) .

وقدم سديوت Sédiot عنها ترجمة فرنسية للمقدمات ، ونشر ا. ب. كنوبل E.B. Knobel « جدول (كاتالوغ الكواكب) » ، متبوعاً بمصطلحات فارسية وعربية (واشنطن 1917) . ونسأل المؤرخون إذا كان النص الأول قد كتب بالعربية أو التركية أو الفارسية ، العديد من المؤرخين يرجحون اللغة الأخيرة ،

وأعدم أولوغ بك بأمر من ابنه في 27 تشرين أول 1449 ، تاركاً لعلم الفلك ، بناء ضخماً وعملًا من الدرجة الأولى . يقول سديوت : « معه انتهت الحقبة الفلكية في الشرق » . وهذا ليس صحيحاً تماماً . لقد كشفت دراسة المخطوطات قيماً أخرى مثل هذا العالم الجزائري الأصل « ابن حزة المغربي » الذي كان كتابه في الحساب وفي الجبر ، باللغة التركية يحتوي أفكاراً رائعة جداً . والمؤلف الذي درس في اسطنبول ، عاد الى هذه المدينة ، بعد إقامة قصيرة في موطنه الأصلي . واحتوى كتابه قواعد مفيدة حول المتواليات . وهذا ما جعل المؤرخ صالح زكي على القول :

« لو أن ابن حزة ، بدلاً من أن يأخذ سلسلة الأعداد المتباعدة بواحد أخذ السلسلة المتباعدة بصفر ، لكان توصل الى اختراع اللوغاريتم ، قبل نيبير Neper بخمسة وعشرين سنة » .

وفي الحالة الراهنة من البحث في تاريخ العلوم الحقة ، في البلاد الاسلامية ، يعتبر ابن حزم الممثل الأخير الجدير بالإهتمام بين علماء الاسلام . وحتى هذه الحقة يمكن القول مع سديوت :

« لم يتوقف الشرق عن أن يكون على نار منذ مطلع القرن العاشر ، ولكن العلم كان قد بقي مُشْرِقاً ومُثْلُوهُ لم يدعوا أبداً الوديعة المتروكة لهم تلتف » .

العلوم الطبية والنباتية . - في هذا المجال تابعت البحوث . على جانب المجموعات والخلاصات والقصائد التعليمية والتعليقات أو الشروح (إذ بعد التلخيص كان المؤلفون يضطرون الى تقديم شروح تفسيرية لهذه الخلاصات) ، نجد كتاباً يشبه الكتب الكبرى التي أصبحت كلاسيكية في القرون الوسطى انه « تذكرة أولي الألباب » لداود الانطاكي .

وعرف القرن الثامن عشر بين هؤلاء العلماء علماً متعدد النشاطات هو السيوطي ، الذي يعتبر العالم الأكثر أهمية في الاسلام ، لو أن القيمة كانت مرتبطة باتساع الانتاج المكتوب . انه فعلاً المثقف الأكثر غزارة في كل الآداب العربية . وهو سليل عائلة فارسية ؛ ولد في القاهرة في 3 ' سنة 1445 « وقد كتب أكثر مما قرأ غيره » ويدكر له فلوجيل 561 كتاباً ينسبها اليه ، ولكن هذه الكتابات الطبية تدل على عقلية التراجع عندما ننظر بشكل خاص الى ميل المؤلف لاستعمال التائم والاجراءات السحرية (نوربرجر) .

وليس هو الوحيد الذي يؤخذ عليه مثل هذه الهفوة فالسيطي في كتابه « الدرر المشرفة » يمزج الوصفات الطبية والإجراءات السحرية والأدوية . ويذكر القرن السادس عشر اسمين شهيرين : الأول لما قدمه لعلم النبات والثاني للموسوعة التي وضعها ، وخاصة القسم من هذا الكتاب الذي يعالج الأجسام البسيطة . في مجال علم النبات وضع عالم مسلم كتاباً أصيلاً يستحق مقاماً جيداً في تاريخ العلوم ، انه الوزير « الفسائي » الذي كتب سنة 1586 كتاباً عنوانه « حديقة الازهار » حاول فيه أن يصنّف النباتات ضمن ثلاث درجات ؛ وكان هذا الكتاب فريداً من نوعه في الأدب النباتي الشرقي ؛ وقد ظهر الكتاب بذات الوقت الذي ظهر فيه كتاب سيزالينو « النباتات » في أوروبا ، وفيه أول تصنيف عقلاني للنبات .

يقسّم المؤلفون الأقدمون ومؤلفو القرون الوسطى النباتات الى اشجار وشجيرات وجنبات [أصغر من الشجيرة] وعشبات ، وهذا التصنيف يركز على المقارنة الخارجية بين الأشكال الظاهرية للنباتات وخاصة الأوراق . وكان لا بد من انتظار سنة 1583 في أوروبا وسنة 1586 في البلاد الاسلامية لنتظهر أول محاولة من أجل التصنيف المنهجي . ويعتبر الدكتور رينود « الفسائي » كممثل استثنائي بالنسبة الى عصره وإلى البيئة التي عاش فيها .

لا شك أننا لا نرى عنده وعياً واضحاً لأهمية الزهرة وخاصة أدوات التناسل الموجودة فيها ، وذلك من أجل إعطاء أساس أكيد للمنهجية ؛ فهو يخلط تحت اسم الخيوط بين المدقة [عضو الذكر] والسداة [عضو الأنثى] . وتميز أجناس النباتات بقي غير واضح كما كان عند الأقدمين . إنما يتجلى من الكتاب ، من جهة أولى ، فكرة التسلسل بين صفات النباتات ، ومن جهة أخرى مفهوم القُوى بين الأنواع النباتية حيث يجمعها تحت تسمية مؤلفة من كلمات ذات جموع غريبة ابتكرها .

داود الانطاكي .. ولكن العالم الأكثر أهمية في القرن السادس عشر الاسلامي هو من غير نزاع داود الانطاكي « أشهر طبيب عاش في الشرق منذ القرن التاسع عشر . ويمكن القول أن به انتهى عهد الطب العربي نهائياً (لوسيان لوكيريك). كان أعمى ورغم ذلك فقد مارس الطب وعلمه كرئيس أطباء مصر في القاهرة ومات في مكة سنة 1599 .

وكتابه « تذكرة الرجل الذكي » يتألف من مدخل ومن أربعة أقسام طبية ومن خاتمة . وإذا كان من المسلم به أن القسم الطبي لا يحتوي على شيء مميز جداً ، إلا أن القسم الثالث كبير الأهمية . فهو قد ذكر فيه أكثر من 1700 عقار في حين لم يذكر ديوسكوريد إلا حوالي 1000 . وذكر ابن سينا 800 ، وابن البيطار 1400 تقريباً . وأعطى ملخصاً غنياً لأقوال سابقه وكان يكملها أحياناً . من ذلك مثلاً ذكره للخصائص الزئبق كمضاد للسفلس . والسفلس بالذات وُجِدَ في ملحق « التذكرة » وهو مؤلف ، بعد الوفاة وضعه تلامذة داود ، الذين نسخوا المقال الموجود في كتاب آخر للانطاكي : النوشا (Nusha) . ودخلت أدوية جديدة في المادة الطبية العربية منذ القرن الثالث عشر ومنها القهوة التي ذكرت لأول مرة هنا .

المؤلفات المعجمية .. وخلف الانطاكي في وظيفة رئيس أطباء مصر في القاهرة تلميذه القوسوني ومات فيها سنة 1634 . كتب القوسوني في كتاب « معجماً موسوعياً ، وقانوناً للمختصين » وهو مستخرج من كل الكلمات الطبية والصيدلانية الموجودة في معجم « لسان العرب » .

وقد أنهى مؤلفون آخرون كتبهم بملاحق معجمية . وفي أغلب الأحيان كان الكتاب يضع ويبقى ملحقاً الذي كان أحياناً موضوع دراسات نقدية . ويمكن أن نذكر « تحفة الأحباب » (هدية إلى الأصدقاء حول خصائص النباتات والأعشاب) ، و « مجموعة المرادفات » وهو مستخلص من كتاب عام في الطب لم يصل إلينا ؛ وهو يحتوي مجموعة من المعلومات المعجمية المفيدة لمعرفة الكلمات التقنية في علم الأعشاب وعلم الأدوية المغربية ، ومؤلف هذا الكتاب مجهول . وبعض التعابير فيه تسمع باعتباره من مؤلفات القرن السابع عشر . وتلك هي أيضاً حال كتاب « كشف الرموز » (مجموعة من الاحجيات في تفسير الأدوية والأعشاب) ويتضمن هذا الكتاب ألفاً (1000) من البنود تلخص وجهات نظر ابن سينا وابن البيطار وداود الانطاكي وهذا الكتاب جزائري مستلهم من الشرق .

وأهمية هذا الكتاب تقوم على وصف بعض الأدوية الجديدة مثل الغايابك والسافراس (الغار) والفشاغ ، والكنيا والسكنيا مما يكشف العلاقات مع أوروبا . ويجدل لوكيريك فيه تعابير محلية بعضها مأخوذ من لغة القبائل ، كما أن الكتاب خلّو من الأساليب السحرية .

وفي القرن التاسع عشر قام مؤلف آخر مراكشي من مدينة فاس اسمه عبد السلام بن محمد العلمي ، درس الطب في مدرسة الطب في القاهرة التي أسسها كلوت بيك تحت حكم محمد علي . ترجم العلمي كتاب داود الانطاكي « أنوار اللغة في تفسير الأجسام البسيطة » إلى لهجة أهل فاس . وحاول أن يضع تعابير مقابل التعابير الصيدلانية الموجودة في الكتاب الثالث من « التذكرة » لداود .

الجغرافيا وعلوم الإبحار .. كانت الجغرافيا وعلم الأبحار في حالة ازدهار مستمر ولا يمكن أن

نخفي ذكر ابن ماجد أسد و البحر الهائج » الذي لم يكن برأى غابريل قرآن الا «ماليو كاناكوا» وهو البحار الذي قاد ثاسكودي غاما من شاطئ إفريقيا نحو كلكتا في الهند .

وهناك جغرافي آخر كان همزة وصل أيضاً بين بقايا العلم العربي وأوروبا القرن السادس عشر ، انه ليون الأفريقي ، واسمه العربي الحسن بن محمد الوزان الزياني الذي ترك غرناطة مع والديه ، وكان عمره يومئذٍ بضع سنوات على أثر استيلاء الملكين الكاثوليكيين فردينان وايزابيل على المدينة سنة 1492. ولجأ إلى فاس وفيها درس ثم أحد يقوم بالرحلات . وفي إحدى رحلاته ، وربما أثناء إرساءه في حبرية جربة في تونس أسره القرصان الصقلي بيترو بوقوديفليو وقدمه هدية إلى البابا ليون العاشر . ونصّره هذا الأخير ، وبعد سنة من الحبس أعطاه المعمودية سنة 1520 تحت اسم جوهانس ليودي مديس . كتب ليو وصفاً لإفريقيا ، فيه بعض الأغلاط ، ذلك أنه كتبه من ذاكرته . وقد حرر الكتاب بالإيطالية ثم ترجمه إلى اللاتينية فلورويان ثم إلى الفرنسية ج. تمبورال . ثم نشره ثانية بالفرنسية م. آ. ابولار .

وقد ترك الجغرافيون الأتراك كتباً قيمة ، أكثرها مكتوب بلغتهم . ان سياسة التوسع الاقليمي وظهور القراصنة قد عملا على تطوير علم الملاحة . حتى في دراسة محصصة أساساً للعلم المعبر عنه باللغة العربية ، لا يمكن إغفال ذكر علماء مسلمين أمثال بريري - ريس (أميرال تركي ترك لنا ، فيما ترك خارطة مأخوذة عن خارطة كريستوف كولومب) . وكتابه « البحرية » هو دليل سواحل البحر المتوسط . وقد لقي بريري ريس نهاية مصححة : فقد أمر سليمان القانوني بإعدامه سنة 1554 ، على أثر وشاية كاذبة .

حاجي خليفة وفهارسه .. سواء تعلق الأمر بالعلوم الحقة ، الطبيعية أو الطبية ، رأينا أن القرن السابع عشر يمثل الحقبة التي بعدها قلما وجدت أشياء حتى الآن تستحق الاهتمام والحفظ بالنسبة إلى تاريخ العلوم في البلاد الاسلامية التي تستعمل اللغة العربية كلغة أداء . وهناك مؤلف يستحق إشارة خاصة في هذا القرن السابع عشر هو الفهرسة المنهجية للأدب العربي في كتاب « كشف الظنون » . والمؤلف ، الذي رافق عدة حملات عسكرية ، كموظف مكتبي لا كمحارب ، انتهى به المقام في اسطنبول لكي « يتفرغ » ، كما يقول ، للحرب المقدسة الكبرى (العلم) تاركاً الحرب المقدسة الصغرى (الجهاد) . وهذا أمر عجب لأنه اكتسب اسمه « حجي » من كونه قد زار مكة حاجاً . وقد استعمل قسماً كبيراً من الارثين اللذين ورثهما لتكوين مكتبة مهمة ، وانصرف إلى الدراسة حتى وفاته سنة 1657 . لم يقم أبداً بدراسات منتظمة في المدارس ، ولكن هذا لم يمنعه من كتابة عشرين مؤلفاً منها « كشف الظنون » ، المكتوب بالعربية ، والمنشور بالعربية وقد ترجمه إلى اللاتينية فلوجل (Flügel) .

ويعطي مدخل هذه الموسوعة الضخمة الشرقية معلومات واسعة عن تاريخ العلوم وعن الفلسفة باللغة العربية (المؤرخ عدنان : عدنان عبد الحق ولد سنة 1882) . هذا المؤلف يسهل عمل المؤرخ لتاريخ العلوم في البلاد الاسلامية حتى القرن السابع عشر ، أي حتى نهاية الحقبة التي وجدت فيها مؤلفات جديرة بالاعتبار كتبت باللغة العربية .

استنتاج .. رأينا أنه رغم الصعوبات الداخلية والخارجية (الصراعات الداخلية والحروب الصليبية والهجمات المغولية) ، لا يمكن إنكار استمرارية حياة علمية ، في العالم الاسلامي . بالطبع ان

هذه الحياة لا يمكن أن تقارن بالحياة التي كانت مزدهرة بحلال نفس الحقبة في أوروبا . ولا هي أيضاً قابلة للمقارنة بالنشاط العلمي الذي عرفته نفس البلدان الاسلامية بخلال القرون الوسطى .

ويبقى أمامنا ، لكي نكمل البحث ، أن ندرس العلاقات العلمية بين البلدان الاسلامية وأوروبا . ان هذه العلاقات التي كانت مزدهرة جداً من القرن الحادي عشر حتى القرن الثالث عشر ، وهي حقبة ترجمت فيها روائع العلم العربي الى اللاتينية ، قد تراجعت بصورة تدريجية . بعد حقبة ترجمة العلم العربي الى اللاتينية ، جاءت حقبة الأعمال الموسوعية التي كانت كثيرة في القرن الماضي . بخلال هذا الوقت ، وباتجاه معاكس ، كان اهتمام البلدان الاسلامية بالعلم الأوروبي لا ينفك يتزايد ، ولهذا لا يمكننا أن ندرس العلم في البلاد الاسلامية ، في القرن العشرين ، والذي سوف يعالج في المجلد اللاحق ، دون الاهتمام بمظهر هذه العلاقات العلمية بين أوروبا وهذه البلدان الاسلامية .

وحق لا نقطع وحدة هذا العمل فإننا سندرس مجمل العلاقات بين أوروبا والبلاد الاسلامية في هذا الفصل .

مراجع الفصل الرابع

Outre les articles parus dans les revues spécialisées (*Archives internationales d'Histoire des Sciences, Isis, Journal Asiatique*), on peut consulter les ouvrages suivants :

A. ADNAN (-ADIVAR), *La science chez les Turcs Ottomans*, Paris, 1939 ; W. W. BARTING, D., *Four studies on the history of Central Asia*, v. II (Ulugh-Beg) ; B. BEN YARU, « La science dans les pays musulmans au XVI^e siècle. Dawud al-Antâki et sa Tadhkirah », in *La Science au XVI^e siècle*, Paris, 1960 ; C. BROCKELMANN, *Geschichte der arabischen Literatur*, 5 vol., Berlin et Leiden, 1898-1942 ; A. EPAULARD, *Jean Léon l'Africain. Description de l'Afrique*, Paris, 1956 ; *Encyclopédie de l'Islam* (divers articles) ; HAJJI KHALIFA (divers articles) ; P. K. HIRTI, *Précis d'Histoire des Arabes*, trad. fr., Paris, 1950 ; L. LECLERC, *Histoire de la Médecine arabe*, t. II, Paris, 1876 ; A. MIELI, *La science arabe et son rôle dans l'évolution scientifique mondiale*, Leiden, 1939 ; MUHAMMAD, *Khulasat al-Athar*, t. II ; H. P. J. RENAUD, *Additions et corrections à Suter (Isis, v. XVII)* ; Id., « Un essai de classification botanique de l'œuvre du médecin marocain du XVI^e siècle » (*Mémorial H. Basset*) ; Id., « De quelques acquisitions récentes sur l'histoire de la médecine au Maroc » (*V^e Cong. Int. Hist. Méd.*, Genève, 1925) ; Id., « Ibn 'Asa » (*Hesperis*, 1937) ; H. SUTER, *Die Mathematiker und Astronomen der Araber und ihre Werke*, Leipzig, 1900 ; G. SARTON, *Introduction to the History of Science*, t. III, v. II, Baltimore, 1948 ; E.-A. SÉDILLOT, *Prolegomènes des tables astronomiques d'Oloug-Beg*, Paris, 1847-1853 ; Id., *Mémoire sur les instruments astronomiques des Arabes*, Paris, 1844 ; Id., *L'histoire des sciences chez les Orientaux* ; TOGIAN, *Tunah al-'Arab al-Ilmi fil-Riyadhiyah wa Falak* ; F. WUSTENFELD, *Geschichte der arabischen Aerzte und Naturforscher*, Göttingen, 1840 ; S. ZAKI, *Athâr-i-bâgiya* (« Histoire des Mathématiques arabes »), en turc, 2 vol., Istanbul, 1911 ; A. SAYIL, *The Observatory in Islam*, Ankara, 1960.

الفصل الخامس

بدايات العلم في فيتنام

بين الهند والصين يقع عدد من « الهند الصينية » الثقافية والسياسية والجغرافية ، أي بلدان تلتقت بأي واحد ، وبدرجات متنوعة ، تأثير الحضارتين الكبيرين في آسيا ، الحضارة الهندية والحضارة الصينية .

تشتمل الهند الصينية الجغرافية على مجموعة غربية متهندة (بيرمانيا ، سيام ، شاميا وكمبوديا) وعلى مجموعة شرقية متصينة ، متكونة أساساً من فيتنام . على هذه المنطقة الأخيرة ، الفيتنام ، سوف تقتصر دراستنا .

منذ العصور الحجرية الجديدة ، تشكلت النواة العرقية الفيتنامية السابقة ، المركبة المعقدة ربما ، في شمال وفي وسط فيتنام ؛ إن ثقافتها لا تبدو أنها تختلف عن ثقافة المناطق الأخرى من الهند الصينية في نفس الحقبة : فخاريات ، أدوات من الحجر المصقول ، صيد ، قطاف . أما الزراعة ، وتربية النباتات المدجنة الصالحة للأكل ، وتربية المواشي فلا يبدو أنها كانت قد وجدت . أما عصر المعادن فلم يبدأ إلا في القرن الرابع والقرن الثالث قبل المسيح ، هذا إذا عدنا إلى التدوينات التاريخية الأكثر نقاؤاً حول ازدهار الحضارة الدونغفصينية البرونزية [دونغ = فيتنام] . في نفس تلك الحقبة تقع بداية عصر الحديد في فيتنام ، وبالفعل ، في منطقة « دونغ - صون » إلى جانب الأشياء البرونزية ، وجدت بعض الأسلحة والأدوات من الحديد . وتوجب انتظار بداية العصر المسيحي ، حتى يتعمم الحديد على حساب البرونز . ولكن تقنية البرونز وتقنية الحديد قد دخلتا حتماً من الصين التي كانت حضارتها أكثر تقدماً بالتأكيد . وانطلاقاً من السنة 111 قبل المسيح ، أثر الاستعمار السيامي لفيتنام من قبل الصين ، والذي استمر حتى سنة 968 ب م ، ثم أُنْعِمَ حتى سنة 1884 بحقبة « دوران في الفلك » ، تأثيراً قوياً في تطور الحضارة الفيتنامية وفي تطور الثقافة والعلم الفيتناميين .

فيتنام مستعمرة صينية - لا نعرف شيئاً مؤكداً عن حالة العلوم في فيتنام قبل الغزو الصيني .

وبعد هذا الغزو، ترسخت الحضارة الصينية في كياويشي (الاسم الصيني لشمالي فيتنام) بشكل نهائي ، وأصبحت اللغة الصينية اللغة الرسمية ، والعلمية ، والأدبية ، والدينية في فيتنام . ومنذ القرن الثاني من عصرنا، ظهرت البوذية في فيتنام ، جلبها الكهنة « بونز » المبشرون ، الآتون من الصين أو من الهند ، والذين ربما جلبوا معهم عناصر من العلم ومن التقنيات الهندية والصينية . ولكننا نفتقر الى الوثائق حول هذه النقطة . وفيما بعد تبين أن بعض الكهنة كانوا من المثقفين الكبار ، ومن علماء النبات ومن الأطباء الكبار . وبخلال هذه الحقبة من الاستعمار الصيني ، استطاع العلم الصيني أن يدخل الى كياويشي من خلال كتب مستوردة ، وأيضاً عن طريق فيتناميين ذهبوا بدرسون في الصين . ولكن تصدير الصين للموسوعات ، والوسائل التقنية ، والنباتات المجهولة الى فيتنام ، كان ، في العديد من الحالات ممنوعاً . ولهذا لم تتحقق عملية التصدير ، في بعض الأحيان ، الا سرّاً بفضل خدع ماهرة ، وربما كان الكتاب العلمي الوحيد الذي دُوّن في فيتنام ، هو مجموعة نباتات الأقاليم الجنوبية المؤلفة من كي هان من زمن تسن Tsien وعوانه « نان فانغ تسا أو موتشوانغ » .

فيتنام مملكة إقطاعية تابعة للإمبراطورية الصينية : في فيتنام القديمة لم يكن للعلم الاختياري كما نفهمه أوروبا، أي وجود ان صح القول . ان هذه الظاهرة كانت ، فضلاً عن ذلك ، عامة في آسيا ، والصين كما الهند ، قبل اتصالها بالغربيين ، كإنا يمتلكان علماً تجريبياً واقعياً وتقنيات . ان الثقافة الصينية ، القليلة الاختلاف عن ثقافة القرون الوسطى الأوروبية ، تعطي المكانة الفضل والتشريف للأدب والفلسفة والأخلاق ، على حساب الانجازات التقنية والعلمية . ولكن حتى بالنسبة الى هذه الانجازات ، كانت البنية الاجتماعية في جوهرها ريفية وقرية في فيتنام ، وإذا كانت أقل ملاءمة لنموها وتطورها مما هي عليه في الصين ، وبهذا الشأن بقيت الجماهير المدنية الفيتنامية ، في سنة 1939 ، أقل من نسبة 3.5% . إن هذه البنية تختلف عن بنية بعض الأقاليم الصينية ، حيث كانت حضارة من نمط مديني ومركزيتي [محب للربح التجاري] منفتح إلى حد كبير على التأثيرات الخارجية ، تستطيع أن تقدم ظروفأ أفضل لنمو المكتسبات العلمية والتقنية . ان اللغة الصينية في الصين وفي فيتنام ، ثم في فيتنام اللغة الفيتنامية المدونة بالحروف الصينية (شونوم) ، بحكم قدرتها على ترجمة معان دقيقة ملموسة أكثر من الأفكار المجردة ، وبحكم عدم وضوحها منذ أن يقتضي الأمر مفاهيم علمية حديثة ، كانتا حاجزاً حاسماً مانعاً من تقدم العلم .

فضلاً عن ذلك إن الفكر المحافظ لدى النخب والطبقات الحاكمة ، واحتقارهم جميعاً للتقدم المادي والأجنبي ، قد منعاً لمدة طويلة كل تقدم في المعارف . ان العالم الصيني الفيتنامي كان مقيداً بالتراث وبالسلطات السياسية التي كانت تخشى كل تطوير وكل ثورة ثم بنسج من القواعد ومن الأوامر الأخلاقية التي كانت تحبه [أي للعالم الصيني] ضمن أساليب الماضي وعاداته . وليس الأمر كما يظن غالباً أن فكر الصينيين أو الفيتناميين كان غير قادر على تتبع مسارات الفكر الاستقرائية والاستنباطية للوصول بها الى الاستنتاجات القصوى ؛ في زمننا هناك عدد كبير من المفكرين الآسيويين ، المتدربين وفقاً للقواعد الغربية ، العاملين بلغة غربية ، أو بلغتهم المكيفة مع العلم الحديث ، يستطيعون التوصل الى نتائج أصيلة ، في كل مجالات البحث العلمي .

ولكن بخلاف القرون الطويلة من السيطرة الصينية، اكتفى الفيتناميون بإدخال التقنيات الصينية إلى بلدهم. وكان السفراء الفيتناميون المكلفون بنقل الاتاوة إلى الصين هم نقلة هذه التقنيات الرئيسيين إلى بلدهم.

وفي ما يتعلق بالطباعة والمؤلفات المحفورة على الخشب لم تظهر على ما يبدو إلا في القرن السابع عشر، وهذا يفسر أن نصوصاً مهمة قد بقيت لمدة طويلة مجرد مخطوطات أي غير معروفة كثيراً. ذلك هو حال الموسوعة الطبية موسوعة لان - أونغ التي كانت مخطوطاتها الأولى من سنة 1770 أما أولى محفوراتها فتعود إلى سنة 1886.

وخلال حقبة التبعية للصين، فرض الاحتلال الصيني للملك منع ضربة قاسية على التقدم العلمي في فيتنام. وفي هذا المجال وطيلة ست سنوات (1407-1413) احتلت الجيوش الصينية شمال فيتنام، وصادرت السلطات الصينية كل الكتب المهمة الموجودة في البلد وأرسلتها إلى الصين، كما أن قسماً من المثقفين والتقنيين الفيتناميين نقلوا إلى الصين. ولإكمال التعمين في فيتنام، نشر الصينيون في فيتنام عدداً محدوداً من الكتب الكلاسيكية ولكنهم استبعدوا المؤلفات العلمية والتقنية من المستوردات. وابتداءً من ذلك الوقت تشكلت طبقة من المتعلمين قوية وأصبح اختيار النخب يتم من خلال مسابقات تتم كل ثلاث سنوات كان من شأنها قبل الغاشية سنة 1918، فقط، استبعاد كل عامل علمي، وكل رغبة باكتشاف شيء جديد من الثقافة الفيتنامية. ورغم ذلك حدث حدثان لاحتقان فأيقظا، من هذا الحد، عقل النخب الفيتنامية: ففي القرن السادس عشر مجيء الأوروبيين؛ ثم في النصف الثاني من القرن السابع عشر تواجد السلالة الأخيرة من المنغ، في جنوب الصين وفي برمانيا، يحيط بهم المبشرون المسيحيون من أمثال الأب بوم (هنري برنار ميتر). وأخيراً، ومنذ القرن السابع عشر عمل المبشرون الأوروبيون في فيتنام، لكي يسهلوا مهمتهم التبشيرية على رومنة اللغة الفيتنامية (أي كتابتها بأحرف روما). وهكذا استطاعوا نقل هذه اللغة دون المرور بعسودية الأحرف الصينية وه نوم (nôm). وتطور هذا الأسلوب المسمى كوك - نغو وانتشر بين الجماهير المسيحية في باديء الأمر. ولم ينتشر بشكل واسع، ولم يستطع استبعاد الحروف الصينية وه نوم - الا تحت السيطرة الفرنسية. هذا الاحتلال بحروف أبجدية لأسلوب في الكتابة بصور الأفكار ساهم في التقليل من شأن الأمية، وساعد على ترجمة الكتب العلمية الغربية إلى اللغة الوطنية.

وكان أباطرة فيتنام مثل نظرائهم من الصينيين يجنون إحاطة أنفسهم بالمبشرين، الضليعين، بعضهم بالعلوم الحضة، وبعضهم الآخر بالطب والعلوم الطبيعية.

وفي مجال علم الفلك كان الفيتناميون قبل القرن السابع عشر بكثير يتبعون معطيات علم الفلك الصيني القائم على رصد الكواكب لوضع الروزنامة. بالمقابل، وكما في الصين نشر المبشرون في فيتنام بعض المعارف الفلكية.

من ذلك أن وليام دامبييه W.Dampier قال عن سكان تونكين في كتابه الذي صدر سنة 1688 بعنوان «رحلة إلى تونكين»: «البعض منهم قد أحرز تقدماً كبيراً في علم الفلك منذ أن جاء اليسوعيون إلى هذه البلاد. فعلموهم دوران الكواكب وكذلك الفلسفة الطبيعية والأخلاق».

ومن بين العلماء الرياضيين والفلكيين والجغومترين والفيزيائيين ، الذين استخدمهم منه - فنغ (1691- 1725) نجد أسماء الأب انتونيس دي ارنيدو والأب ليما . واستخدم فو- فنغ (1738-1765) الآباء جان سيبرت ، وسلامنسكي ، وجان كوفلر ، ومونتيرو وجوزيف نوجيبور ، وقد بنى الأب مونتيرو مضخة على النار . وفيها بعد أدهش الأب بواسيران (1797) بلاط أنام في تجاربه حول الكهرباء والبالونات .

وكان الأطباء كثرأ أيضاً ، سواء كانوا رجال دين أم علمانيين . من ذلك أنه بعد إقامة الأباني ترانتويس (1619 حتى 1621) وم . بوم (1645) ، قام العديد من المبشرين بوظائف أطباء الى جانب الاباطرة والأمراء . تلك كانت - في القرن السابع عشر - حال الآباء ب . داكوستا وفانت ، ولاعلوا الذي أسس مستشفى في هيوي Hué سنة 1680 وأصبح طبيب البلاط . تلك كانت أيضاً ، في القرن الثامن عشر ، حال الآباء سانا ، وس . بيرس ، وسيبرت وج . كوفلر ، وجان دي لوريرو (1710- 1791) . وكان هذا الأخير مؤلف كتاب مهم « نباتات الكوششين » (1790) .

ومن بين الأطباء العلمانيين الذين عاشوا في بلاط هيوي نذكر : الانكليزي دوف (1747-1824) الذي أجرى عملية ناجحة لـ فر- فونغ ، من ناسور مخرجي ، وفيلبيرت ، جراح الشركة الفرنسية للهند، الذي جاء إلى توران ، مرسلأ من قبل دويليكس قبل 1750 ، ثم دسيو (توفي سنة 1824) ، الذي نزل في كوششين سنة 1789 ، وذهب سنة 1820 ، يبحث في ماكاو عن أول لقاح ضد الحديري استعمل في فيتنام ؛ ثم ب . م . ديارد (1794-1863) ، الذي قام بأول استكشاف للحيوانات والنباتات في فيتنام ؛ ثم جورج فلايزون الذي رافق كجراح بعثه كرافورد الى سابغون ، وتوران وهيوي (Hué) (1822) .

بين 1820 و1862 ، حاولت فيتنام كما حاولت الصين الافلات من قبضة الغرب ؛ وذلك بقطع كامل للعلاقات مع البلدان التي كانت تستطيع يومئذ أن تقدم لها وسائل التقدم . ومع ذلك فقد سمح لبعض الفيتناميين بأن يساهموا الى الخارج . وتحققوا من الخطر المتمثل بعزلة بلادهم وتجاهلها للعلم الحديث . ترك هام - فو - تو (1820-1881) ، وقد أرسل بعثته الى الصين ثم الى فرنسا ، كتاباً عن النبات الطبي ، ومبادئ حول الابحار وحول استكشاف مناجم الفحم ، ومجموعة علمية . وحصل نغون - تروونغ - تو (1828-1871) الذي رافق الاسقف غوتييه الى أوروبا ، وذلك بعد احتلال الكوششين من قبل فرنسا (1863) ، على الأذن بإنشاء كلية علمية غربية (1867) وإرسال طلاب الى فرنسا (1870) .

في هذه الأثناء كان التقنيون والأطباء ، وهم في معظمهم من العصامين ، معزولين تماماً ومفتقرين إلى الكتب الأوروبية الصالحة للترجمة ، وذلك من أجل إقامة تيار فكري دائم . ولم تكن لغة الكونكتو قد شاعت بين الناس بعد ، ولم يكن الأحانب يتصلون الا بأوساط اجتماعية محلية ضيقة .

وبالمقابل كان المبشرون ، أكثر اهتماماً بالعلوم من نظرائهم في الجامعة الاسيانية في الفيليبين ومكسيكو . ولكن لم تتطور حولهم هذه « التجارة الأنوار » التي عملت في الصين على إشاعة الكينا والدورة الدموية ، وفي اليابان على إنشاء المدرسة الطبية المسماة « مدرسة برايرة الجنوب » . واشاعهم لم

يَعُدُّ المحيطين بالملوك المتوربين في فيتنام . ثم ان المثقفين الفيتناميين المعاصرين لم يبدؤا أنهم عرفوا لا الأدب العلمي الصيني السوسي ، ولا الكتب العلمية الصينية التي كانت صدى لها .

وتدل لوائح ومراجع المشورات ان الكتب التاريخية والدينية والأدبية كانت أكثر عدداً بكثير من الكتب العلمية . ثم يجدر أن لا نغفل الكتب الأخيرة ، كما كان يفعل الفيتناميون في الماضي ، الكتب المحصنة الى العلوم الكاذبة أمثال : الضرب بالرمل ، وقراءة الكف ، والفراسة ، والتنجيم . وحدها الجغرافيا والطب ، وعلم العدد كانت موضوع انتاج معيد . في هذه المجالات ، وخاصة في الطب ، لم يكن العلم الفيتنامي نسخة طبق الأصل للعلم الصيني . في فيتنام ، كما في اليابان وكوريا ، عمل الزعماء المحليون ضد المحلويات الأجنبية . ورغم ثقافتهم الصينية العميقة ، لم يرفض الأطباء الفيتناميون لا بكل النظريات ولا بكل الإجراءات ولا بكل الاستطاسات التي كانت لدى معلمهم الصينيين ، وإذا كانوا قد قبلوا هؤلاء في مجموعهم ، فقد ضموا اليهم معلمين وطنيين أمثال توي - تن ولان - أونغ .

الجغرافيا . - كانت الجغرافيا في فيتنام تعتبر كملحق تابع للسياسة أكثر مما كانت تعتبر مجالاً علمياً . ووفقاً للطريقة الصينية ، كانت تقوم على دراسات خاصة اقليمية ، وعلى عدد كبير نوعاً ما من خرائط السواحل ومن بيانات الرحلات . وأخذ أقدم كتب الجغرافيا المعروفة وضع حوالي سنة 1333 من قبل لي تاك Le-Tac ، وهو فيتنامي لجأ الى الصين (طبعة يابانية ، 1884) ؛ تُرجم الى الفرنسية بفضل ش. سسون (1896) . وهناك جغرافية قديمة هي جغرافية نغوين نراي (1380-1442) . ومن آخر القرن الخامس عشر حتى 1882 ، صدرت عدة كتب ، مزينة بالخرائط وبالتصاميم ، ونشرت بأمر امبراطوري . وكان القرن التاسع عشر العصر الذهبي للجغرافية الفيتنامية .

الرياضيات . - في القرن الخامس عشر ، عُرف مؤلفان مهمان : الأول شوهوو ، وكان مؤلف « طريقة كاملة جداً للعد » (داي ذاته توان فاب) ، وبها تعليم لقياس أو كيل مساحات الرز . والثاني لونغون - تي - ثه ، أنه أعاد تنقيح وطبع كتاب منافسه ، وأدخل الى فيتنام الطريقة الصينية بالعد بواسطة العداد .

الطب . - ونظراً لما يتسم به الطب من سلطة ، فقد اجتذب الفيتناميين كثيراً . ونذكر تعاصر نظامين ، الأول جنوبي وهو مجموعة من الأعراف الشعبية المقلوبة شفوياً ولا تستعمل الا مستحضرات الطبيعة الفيتنامية ؛ والأخر ، النظام الشمالي ، وهو بالعكس من الأول ، نظام علمي منقول بواسطة الكتب المستمدة مباشرة من الطب الصيني . وأهم المواضيع التي عالجها هذا الطب الصيني - الفيتنامي هي الطب العام ، وطب الأطفال ، وطب النساء ، والطب الشرعي ، والمادة الطبية ، والأمراض المعدية . وكان الأطباء ، كبقية الهيئات الحرفية ، هم عباقرتهم الحماسة ، أي أطباء مشهورون يمجون ذكراهم في بعض التواريخ في معابد خاصة . ان أحد هذه المعابد كان ما يزال موجوداً سنة 1954 . وكان الأطباء ، الى حد ما ، مراقبين بواسطة جهاز وطني (ي - تي بو) يتم عرضاً بتعليم الطب . في الواقع يتم تعلم الطب لدى طبيب مشهور يفتح مدرسة طب ، غالباً ما تكون أيضاً أدبية وفلسفية .

ولكن يوجد أيضاً أطباء عصاميون ، وأطباء حملة جوائز مسابقات أدبية ، يستطيعون الوصول الى الكتب الكلاسيكية الصينية .

وبالإجمال ، ان القيمة المهنية للأطباء الفيتناميين ، ليست عما يستهان به . لقد قُيِّمت من قبل المبشرين ، ومن أشهرهم الكسندر دي رودس (1591-1660) الذي كتب يقول :

« قد نهزأ من هذه الشعوب ، ان قلت ان مطلق انسان يستطيع أن يكون طبيباً إذا أراد ، ولكني أنا الذي كنت هنا بين أيديهم وكنت شاهداً على ما يمكنهم فعله ، أستطيع القول انهم ليسوا أبداً أقل مستوى من أطبائنا » .

إن المؤلفات الصينية التي أثرت أكثر في الطب الفيتنامي هي في - كنغ (« قانون الطب ») ، وهـ الثاني كنغ (« كلاسك يعالج مسائل صعبة ») ، المونغ (« نظام النبض ») ، الكن - كوي (« وصفات الصندوق الذهبي ») ، والشانغ هان لوين (« كتاب الأمراض التي يسببها البرد ») . من بين الأطباء الصينيين الذين همعوا كثيراً زملائهم الفيتناميين ، نذكر : لي شي - تشن (1518-1593) ، يوتشانغ (القرن التاسع عشر) ، فونغ شي وفونغ تشاو - تشنغ (القرن الثامن عشر) .

وأكبر طبيبين فيتناميين هما توي تنه ، ولان - أونغ . والأول هو كاهن تعلم في الصين علم النبات الطبي ووضع كتاباً بالأدوية الفيتنامية (القرن الرابع عشر) ، وصلنا منه ثلاث طبعتات محفورة (1717). 1726. (1761) . وقدم وصفاً لـ 650 دواءً فيتنامياً خالصاً ، تفضل من هذه الناحية على الأدوية المستعملة في شمال الصين . انه أول طبيب فيتنامي أظهر أصالة حقيقية . وكتابه المكتوب على غرافيا مختلطة صينية شعبية وقد ترجم جزئياً الى الفيتنامية والى الفرنسية . وكتب لان أونغ (1720 - بعد 1786) بالصينية موسوعة طبية من عشرة مجلدات يوجد منها عدة تراجم فيتنامية . وهذا المؤلف المتميز بانتماءاته العقلانية وبوضوحه ، وبخلفيته العالية مؤسس على تجربة شخصية طويلة . ان حقبة حكم الامبراطور جيا - لونغ كانت حقبة مشرقة بالنسبة الى فيتنام والى الطب الصيني الفيتنامي . ان تنظيم الصحة العامة قد انجز إدارياً بين 1805 و1814 ؛ والتعليم الرسمي للطب سوف ينظم فيما بعد في هوي Hué سنة 1850 ، تحت حكم تو - دو ك . من المعروف بالنسبة الى حقبة آل نغوين وجود عدد كبير من المؤلفات الطبية ترجم منها كتاب واحد الى الفرنسية هو « كتاب تصحيح الأخطاء » وضعه فوج - هوو - هوي نقلاً عن كتاب سي يوان لو ، وقد ترجمه الى الفرنسية ليتولف سنة 1909 .

وخلال الفترة الاستعمارية التي سوف نعالجها في المجلد اللاحق اتجه العلم الفيتنامي الى اتجاهين مختلفين : من جهة هناك العلم التقليدي الصيني الفيتنامي ومن جهة أخرى هناك العلم الغربي ، الذي استلمه بكامله الفرنسيون في بادئ الأمر ولكنه أعجب الأجيال الجديدة الفيتنامية حين بدا لها أنه السبيل الوحيد المؤدي الى الاستقلال الصحيح .

مراجع الفصل الخامس

DÔNG-BÁ-BANH, *Introduction à l'étude de la médecine au Vietnam*, thèse de Hanoi, 1947 ;
DÀO-DUY-ANH, *Việt-nam văn-hóa sử-cùng* (Histoire sommaire de la civilisation vietnamienne) ;
M. DURAND, Médecine sino-vietnamienne . bibliographie (Bulletin de l'École française d'Extrême-
Orient, 1956) ; F. GASPARDONI, Bibliographie annamite (ibid., 1934) ; P. HUARD, Études histo-
riques sur l'ancienne médecine sino-vietnamienne (Bulletin de la Société des Études indochinoises,
1956) ; ID., La médecine sino-vietnamienne (Concours médical, 1957) ; P. HUARD et M. DURAND,
Lâm-ông et la médecine vietnamienne (Bull. Soc. Études indo-ch., 1953) ; ID., *Connaissance du
Vietnam*, Paris, 1954 ; ID., Un traité de médecine sino-vietnamienne du XVIII^e siècle (Rev. hist.
sci., 1956) ; NGUYỄN-TRẦN-HUÂN, *Histoire des premières relations entre la médecine chinoise et la
médecine vietnamienne* (Congrès des Sinologues, Paris, 1956) ; TRẦN-HÀM-TÂN, *Notes bibliogra-
phiques sur la pharmacopée sino-vietnamienne* (trad. M. DURAND), Dân Việt-nam, 1948 ; TRẦN-
NGỌC-NINH, L'éthique dans la médecine sino-vietnamienne (Arch. int. Hist. Sci., 1953).

تقدم العلم الحديث في الشرق الأقصى بخلال القرن التاسع عشر

في الصين كما في اليابان ، وحوالي منتصف القرن التاسع عشر لم يدخل العلم الحديث الا بشكل جزئي جداً وغامض جداً . فلا مجلوبات اليسوعيين إلى بلاط بكين ، ولا الاتصال بين العلماء اليابان وبين التجار الهولنديين في ديشيا (راجع المجلد الثاني) كانت تكفي لادخال هذين البلدين ضمن المجموعة العلمية العالمية بشكل كامل . ان الوضع السابق على الرأسمالية في النشاط الاقتصادي والتوجه المحافظ في الدولة وفي الفكر الرسمي كانا قليلي المساعدة لتكامل ازدهار هذه البذور من العلم الحديث الآتية بفضل الاتصال بالغرب .

إن الأحداث السياسية : حرب الأفيون ، وعملية التحول الاقتصادي والسياسي البطيئة التي أطلقتها هذه الحروب في الصين ، والحركة الاصلاحية « الميجي » ، والتحديث السريع في اليابان ، الذي تم بفضل باعثيه ، كل ذلك سوف يغير بصورة جذرية ، في هذين البلدين ظروف انتشار العلم الحديث وظروف البحث العلمي الأصل . وربما لا يوجد مثل أكثر دلالة على الترابط الوثيق الموجود بين الوضع الاقتصادي والسياسي العام في بلد ما وبين حالة نمو العلم وتطوره .

الشروط الجديدة لانتقال العلم الى الصين . - ان حروب الأفيون لـ 1840-1842 و 1856-1860 ، قد مكنت الدول الغربية من التدخل اقتصادياً وسياسياً في الصين . وأصبحت المرافئ الرئيسية مفتوحة أمام التجارة ، وقامت مناطق ذات وضع خاص منحت « الامتيازات » فيها للغربيين انطلاقاً ، بمعزل كامل وفعلي عن رقابة السلطات الصينية . وأصبحت جزيرة هونغ كونغ ، أمام ساحل كانتون أرضاً بريطانية خالصة .

بموجب الامتيازات أصبح الأجانب قادرين على الإقامة بحرية ، وعلى التملك وعلى تأسيس المنشآت من كل نوع . وأدى نمو التجارة باتجاه الأسواق الخارجية والداخلية الى نشوء طبقة برجوازية ، وطبقة مثقفين صينيين ناشطين جداً ، ومتطلعين الى المعارف الجديدة ، وحذرين من الفكر الصيني

التقليدي . ويعكس ما حصل في حقبة الانتقالات السوسية ، ان العلم الحديث لن يكتفي بالاتصال فقط ببرجال البلاط البطالين ، بل سيلامس مباشرة الطبقات الأكثر تقبلاً والأكثر حركة في المجتمع الصيني . والفروق بين ردادات الفعل في الوسطين سوف يكون ضخماً .

إن المراقء المفتوحة وخاصة كانتون وشنغهاي ، وهما الأكثر أهمية بين المراقء ، سوف تصبح بسرعة مراكز ناشطة جداً لنشر العلم الحديث⁽¹⁾ . وكذلك سوف يكون حال هونغ كونغ . ان المكاسب التي حصل عليها الغربيون بعد حروب الأفيون يدخل فيها أيضاً حرية الدعوة للإنجيل في كل الصين بالنسبة الى البعثات التبشيرية الكاثوليكية والبروتستنتية . وهذه الأخيرة سوف تنجح الى حد كبير ، لا كما كان في القرن السابع عشر بإجبار الامبراطور على الموافقة ، وكذلك البلاط ، عن طريق إظهار علمهم العالي ، بل باكتساب الجماهير في هذه المراقء المفتوحة التي تحولت اليها ركيزة الحياة الصينية ونقلها . ونشاط هذه البعثات الطبي بشكل خاص سوف يكون ضخماً .

وأخيراً لقد كرست حروب الأفيون هزيمة الصين التي وقعت بصورة تدريجية تحت تبعية الأجانب الذين كانوا يعتبرون حتى ذلك الحين برابرة ؛ وفوز هؤلاء البرابرة بدا لكل مراقب صيني عاقل كنتيجة تقنية عسكرية عليا ، هي بدورها ثمرة المعارف العلمية الأكثر تقدماً . إن التحكم بالعلم الحديث يشكل إذاً شرطاً أساسياً للنهضة الوطنية في الصين ، انه شأن من شؤون الدولة من الدرجة الأولى ولم يقتصر النقاش فقط على بعض الاختصاصيين ، بل ان كل رجال السياسة ، أنصار النظام القديم أو إخصامه ، السياسي والاجتماعي ، هم الذين أخذوا يناقشون الموضوع بحماس .

النشاط العلمي الذي قامت به الإرساليات - في كانتون قام بيتر باركر ، أحد أعضاء جمعية بروتستنتية أميركية ، سنة 1835 بفتح أول مستشفى تبشيري في الصين . وفي سنة 1838 أسس الجمعية الطبية التبشيرية . ونشأت مراكز إشفائية تبشيرية في السنوات اللاحقة في هانكيو ، وفي نغبو وفي سوانو وفي مدن أخرى كثيرة . في كانتون ورث هؤلاء الأطباء المبشرين الأنكلوسكسون من نشاط بذله منذ بداية القرن التاسع عشر أطباء « شركة الهند الشرقية » . وفي سنة 1805 قام أحدهم وهو الكسندر بيرسون بإدخال اللقاح الى مدينة ماكاو⁽²⁾ . واتخذ لنفسه مساعدين صينيين كان أكثرهم نشاطاً هو يو-هو-تشووان (Yeou Ho tch'ouan) ، الذي نشر سنة 1818 كتاباً صينياً عن اللقاح ، ويقال أنه لقح مليون إنسان حتى وفاته سنة 1850 . وبعد تأسيس المستشفيات الإرسالية ، انتشر التلقيح بشكل واسع في المراقء المفتوحة .

ومن أجل تأمين التدريب المهني للمساعدين الصينيين ، ترجم المبشرون الأطباء أو كتبوا بالصينية

(1) في الواقع انها عوفا العلم الحديث نحو هذه المراقء ، ذلك هو القصد . وقبل أن يختار م. ريتشي (Ricci) طريق التصرف داخل القصر الامبراطوري ، فقد بدأ عمله في نشر العلم بين الباعة والمتعلمين في منطقة كانتون ، ثم في اسفل يانغتسي (يراجع المجلد الثاني)

(2) من المقيد التذكير أنه في الأزمنة البعيدة أيام سلالة سونغ (Song) (القرن العاشر - الثاني عشر) عُرف في الصين التجدير ، وهو أصل التلقيح . هذه التقنية نقلت الى أوروبا عن طريق الاتراك ، وقد سهلت أمام إدوارد جيسر (Edouard Jenner) اكتشافه للقاح ، في حين كان التجدير قد ذهب مع السيان .

كتباً مختصرة عن الطب العملي ، ومنها كتب في التشريح (1850) والجراحة (1857) والصيدلة (1858) وضعها بنجامين هوبسون (Benjamin Hobson) ؛ وأمثال كتب جون كير ، الذي خلف باركر في كانتون ، حول أمراض الجلد (1874) ، والفلسف (1875) ؛ وأيضاً مثل كتاب المفردات الطبية الصينية في سنة مجلدات من وضع جون دودوجون (John Dudgeon) . وتكشف بعض هؤلاء الطلاب الصينيين المدربين على يد المبشرين موهوبين بشكل رائع ؛ ومنهم : كوان آ-تو ، تلميذ باركر Parker وكان أول طبيب يمارس الجراحة الحديثة ، أو هوانغ كوان (ونغ فون) ، أرسل كطالب إلى الولايات المتحدة سنة 1854 ، مجاز من يال Yale ومن أدنبره (Edimbourg) ، وبعد عودته عمل في المستشفى التبشيري في كانتون . وإذا كان تلميذ آخر من هؤلاء التلاميذ قد أصبح رجل دولة كبير ، فإن الشهادات قد أجمعت على مدح مهارته كجراح ، إذ في كانتون ، إلى جانب الدكتور كير Kerr وكانتي Cantlie ، تدرب سون يات سن ، على الطب الحديث ؛ وقبل أن يتخل عنه نهائياً ليمارس النشاط السياسي ، فقد مارس بعض الوقت الطب في ماكاو وهونغ كونغ ، ويذكر معلمه كانتلي Cant-lie انه كان يأنس في رؤية تلميذه وهو يجري العمليات .

وساهم المبشرون أيضاً في التجهيز العلمي ، في المرافق المفتوحة وخاصة في شنغهاي ، التي أصبحت منذ السنوات 1860 أحد أكبر المرافق على الباسيفيك ، والمركز الرئيسي للنشاطات المالية والتجارية الغربية في الصين . وعندما أراد الانكليزي روبرت هارت R. Hart ، الذي أسندت اليه حكومة مانتشو في بكين مهمة المفتش العام للجمارك في الصين ، ان يقيم رقابة صحية على المراكب ، بغية المحافظة على « الأراضي الامتيازية » من الأوبئة الآتية من الخارج ، فإنه كلف لهذه الغاية الأطباء المبشرين الأنغلوسكسون ، الذين كانوا يمارسون عملهم في المرافق الرئيسية بمهمات المفتش الطبي للجمارك . وكانت المؤسسة التي أقامها سنة 1873 الآباء اليسوعيون الفرنسيون من أجل مرصد زيكواوي Zikawei ، في ضاحية شانغهاي ، والذي تخصص بالأرصاد الجوية ، وخاصة بالتنبؤ بالأعاصير (تيفون) قد قامت لنفس الغرض ؛ فلم تعد غاية هؤلاء الفلكيين اليسوعيين الإقامة في بلاط بكين ، كما كان فعل في القرن السابع عشر سابقوهم الشهيرون ريتشي Ricci ، وشال Schall وفرييست Verbiest ، بل الإقامة في مركز التجارة الأجنبية في الصين للمساهمة في نموها . هذا المثل يوضح جيداً المسالك الجديدة جداً التي سلكتها ، في هذه المرحلة الأخيرة ، الانتقالات العلمية التبشيرية في الصين

وإنه لثبوته أن يقوم الكسندر وايلي (Alexander Wylie) ، مبشر من (جمعية لندن التبشيرية) بنقل كتاب أقليدس « الجيومترية » إلى الصينية ، ابتداء من النقطة التي انتهى إليها ريتشي Ricci ، أي في الكتاب السادس ، ونشر في شنغهاي ، حوالى سنة 1860 ترجمة للكتب الأخيرة ، وكذلك كتاب الجيومترية التحليلية ، وكتاب الحساب التفاضلي وحساب التكامل الذي وضعه لوميس Loomis ، وكتاب علم الفلك الذي وضعه ج. هرشل (J. Herschel) .

الجهود المبذولة لنشر العلم الحديث من قبل السلطات الصينية في أواخر عهد الامبراطورية - من جهة كان رجال الدولة الصينيين أقل لا مبالاة من سابقيهم في القرن السابع عشر ، تجاه نشر العلم الحديث في بلدهم . لقد أصيبوا بالهزائم العسكرية الخطيرة الأمر الذي حلهم على الإهتمام بتلقي التأخير العلمي الصيني الذي كانوا على وعي تام به . وكانت كلمة السر هي « تقوية الصين لذاتها

بذاتها « (تسي - كيائغ) ، وبدا التقدم العلمي في نظر أهل الرؤيا الواضحة من الحكام الكبار ، كمعصر مهم في هذه التقوية . وقد حفز هذا الهم في السابق « لين تسي سيو » (Lin Tse siu) ، نائب الملك المرسل الى كانتون سنة 1839 من أجل طرد تجار الأفيون ، وقد تسببت شدته بالحملة الإنكليزية سنة 1840 ، وهذا الاهتمام بالذات كان أيضاً عند تسنغ-كو-فان (Tseng - Kouo-fan) ، الذي كان يوجه القمع بواسطة الحشوش الامبراطورية ضد العصيان الكبير الذي حصل في « تايبينغ » (Taiping) (1851-1864) ، بمساعدة جنود فرنسيين واسكليز . فقد بدا له أنه لا يكفي أبداً شراء المعدات الحربية الأحدث من الغرب ، بل وحتى القيام بصنعها في الصين . فقد صرح بهذا الشأن سنة 1868 في مذكرة أرسلها الى الامبراطور يقول : « الآن ، أصبحت الترجمات هي أساس التصنيفات الحديثة . ان الرياضيات تستعمل عند الأجانب كأم للعلوم الصناعية . . . ورغم أننا نعرف صنع الأشياء ، إلا أننا عاجزون عن فهم مبادئ صناعتها ، بسبب صعوبات اللغة » (نص ذكره ج. شن G. Chen ، « تسنغ كيو-فان » ، ص 63)

هذا الاهتمام بالعلم حرك أيضاً نائب الملك تشانغ تشي تونغ (Tchang-Tche-tong) الذي نشر سنة 1898 كتابه الشهير « كيون هيو بيان » (« الحوض على الدراسة ») ، وكان برنامجه يفسح مجالاً واسعاً أمام المعارف الحديثة .

وتلاقت الاهتمامات السياسية لدى هؤلاء الرجال الرسميين مع الاهتمامات العلمية الخالصة ، لدى عدد من المعلمين المولودين بشكل خاص في مناطق يانغستي السفلى ، الذين كانوا شهوداً على التحولات الاقتصادية في هذه المنطقة ، والذين أخذوا يعون بصورة أكبر الجُمود الذي تنسّم به الدراسات الكوفيوشية للصين . في ووسي Wousi ، مثلاً ، وهي مركز صناعي وتجاري ناشط ، قامت مجموعة من المثقفين المتطوريين ، سنة 1850 تقريباً ، بدراسة الفيزياء الحديثة ، مستعينة بكتب نشرها في شنغهاي ، بالصينية ، المشترون الانغلو سكسون . فاستوردوا لحسابهم أجهزة ضرورية للتجارب المدونة في هذه الكتب . وقام المهندس تسي كو هيانغ ، سنة 1863 ، فبنى في آنكين بوسائله الخاصة ، ودون أن يستعين بالاختصاصيين الغربيين ، أول سفينة على البخار صينية ، سعتها 25 طناً ، وكان من بين أفراد هذه المجموعة . وكذلك كان حال العالمين الرياضيين هوا هونغ فانغ ولي شان لان ، وقد اتصل الأخير بالرياضي التشييري الكساندروايلي ، ومن تعاونها خرجت ترجمة الكتب الأخيرة من « جيوميتريا » اقليدس ، تماماً كما كانت ترجمة الكتب من 1 إلى 6 ، قبل ذلك بقرنين من الزمن ، عملاً مشتركاً قام به ماتيو ريتشي وبول سيو كوانغ - كي . وكان لي شان - لان هذا ، بذات الوقت ، مؤلف كتب مهمة شخصية حول الدالات (FONCTIONS) التريغونومترية (علم المثلثات) واللوغاريتمات والقطع الأهلبيحي وبجاميع سلاسل المتقلات وكان وايلي Wylie يرى أن كتابه حول اللوغاريتمات ، الذي طهر سنة 1846 ، كان يكفي ليؤمّن المؤلف الشهرة في زمن نايبي (Napier) في أوروبا . وكان المهندس تنغ كونغ تشن وجهاً آخر من المثقفين المتجذرين نحو العلم الحديث . وقد زار سنغافورة ، واتجه نحو الرياضيات والهندسة المدنية . ونشر سنة 1850 تقريباً « رسوماً حول المدفعية » (ين - باو تو شوو) وهو صاحب مشروع أصيل لقاطرة بخارية .

إن انتشار العلم الحديث في الصين انطلاقاً من حروب الأفيون يعود الفضل فيه إلى تعاون هاتين المجموعتين : رجال الدولة الحريصون على تقوية الامبراطورية ، ثم المثقفون المتطلعون إلى العلوم . ومن جهتهم قام المبشرون ، خاصة بعد 1860-1870 ، يتعاونون مع المجموعتين تعاوناً وثيقاً . وكذلك كان الطلاب الصينيون المائدون من الخارج ، والذين كانوا يوثقون غير كثيري العدد ، مشاركين في هذا الانتشار (إن أول بعثة من الطلاب أرسلت إلى الولايات المتحدة تعود في تاريخها إلى سنة 1854) ؛ وفي آخر القرن أصبح عدد هؤلاء الطلاب عدة مئات من الرجال .

في سنة 1865 أسس تسنغ كوفان ، قرب شنغهاي ترسانة كيانتغان . والحق بها سنة 1867 مكتب دراسات علمية وترجمات ، وكان يشجعه في ذلك مثقفو المنطقة أمثال لي شان - لان وممثلون آخرون من مجموعة ووسي (Woussi) ، وبعض الأنغلوسكسون أمثال آ. وايلي ، ود.ج. ماكفوان (D.J. Macgowan) وج. فراير (J. Fryer) . وشرعوا يضعون ، باللغة الصينية ، مجموعة اصطلاحات « مدونة » علمية حديثة (لأن المدونة التي وضعها اليسوعيون في القرن الثامن عشر لم تعد تتلاءم مع التطور الحاضر في العلم الغربي) . وظهرت الكتب الأولى سنة 1873 ، وترجم ثمانية وتسعون كتاباً علمياً غريباً ، تشكل 235 مجلداً ، ونشرت بخلاف ست سنوات ؛ وبيع منها 83454 نسخة يضاف إليها 4774 نسخة عن 27 خارطة جغرافية حديثة نشرها المكتب . انها نتيجة ملحوظة ، خاصة بقياب أية شبكة منظمة للدعاية والتوزيع . في هذه المجلدات (235) المنشورة ، جاءت الرياضيات في الطبعة باثني وخمسين مجلداً ، ثم جاء علم الفلك (27 مجلداً) ، والجولوجيا (20 مجلداً) والكيمياء ؛ (19 مجلداً) .

وقام مركز نان مهم للترجمة ، بذات الوقت ، في بكين ؛ انه موقع قد يثير العجب ظاهراً ، بعيداً عن نشاطات المرافء ، إلا أنه يجد تفسيره في رغبة وزارة الخارجية ، تدريب مترجمين مؤهلين للغات الأجنبية . وقامت كلية « تونغ وين كوان » (« مكتب العلاقات الثقافية ») ، لهذه الغاية سنة 1862 ، وفيها لا تدرس بصورة أساسية إلا اللغات الغربية ؛ ولكن في سنة 1867 كان تأثير دعاة الإصلاح قوياً ، لدرجة أنه - رغم قرب البلاط حيث تسيطر العناصر الأكثر تشبهاً بالمحافظة - كانت دراسة العلوم الأوروبية قد دخلت إليه في سنة 1867 . وأقيمت في هذه الكلية مختبرات للكيمياء (1876) ومرصد (1888) : والحققت بها مطبعة سنة 1873 من أجل نشر الكتب الصينية المحررة بمساعدة أساتذة غربيين تختارهم الكلية : الفرنسي بيلاكويين (Billequin) للكيمياء ، والأميركي و. آ. ب. مارتن (Martin) للفيزياء ، والانكليزي جون دودجون للطب . وعلم في الكلية أيضاً علماء صينيون ، ضليعون بالعلوم الحديثة ، مثل العالم الرياضي الكبير لي شان - لان . وتضمن البرنامج الكامل للدراسة علم الفلك ، والرياضيات، والكيمياء، والتشريح ، والفيزيولوجيا ، والفيزياء والجغرافيا ، والجولوجيا ، وعلم التعدين ، والهندسة المدنية ، الخ .

ولكن النص الصيني لهذا البرنامج لم يتضمن إلا البتدين « علم الفلك » و « الرياضيات » ؛ وأغلب الظن أن القائمين بالمشروع حاولوا أن يخفوا ضخامته ، خيفة أن يستثيروا عداء الفريق المحافظ في البلاط .

والدليل على ذلك أنه في سنة 1867 ، سنة ادخال العلوم في برنامج الكلية ، قام وو-جين ، كبير الأسماء ورئيس أكاديمية هان لين ، وإذا فهو بهذا المصب المزوج إحدى الشخصيات الأولى في الامبراطورية ، يعلن معارضته الشديدة لتطوير العلم الحديث :

« من وجهة نظر خادمك ، ان علم الفلك والرياضيات لها فائدة محدودة جداً . وإذا كانت هذه المواضيع تعلم بانتظام من قبل الغربيين ، فإن الضرر سوف يكون عظيماً لقد عرف خادمك بأن الأسس المثينة لأمة من الأمم ترتكز على الملكية وعلى الاستقامة ، لا على القوة ولا على المؤامرات . إن الجهد الأساسي يتعلق بروح الشعب ، لا بالتقنيات . فمنذ العصور القديمة وحتى العصور الحديثة ، لم يسمع خادمك عن أحد استخدم الرياضيات لإنهاض الأمة المتأخرة أو لتقويتها في حقبة ضعف . . . » (ذكره ج. ك. غيربانك ، تجاوب الصين مع الغرب ، ص 76) .

الواقع أن الغالبية العظمى من قادة الامبراطورية ظلوا متعلقين بقوة بالكونفوشية ، التي لا تفصل في أذهانهم عن كل « النظام القديم » السياسي والإجتماعي . وحتى عندما لا يذهبون إلى حد الرفض الكامل مثل « وو-جن » ، وحتى لو كانوا مثل نواب الملك « تسنغ كو-فاد » و« تشانغ تشي تونغ » يشجعون إلى درجة معينة الدراسات العلمية الحديثة ، فالأمر بالنسبة اليهم لا يعدو أن يكون معالجة تلطيفية مفيدة للامبراطورية ، وليس إعادة توجيه عامة للحياة الفكرية الصينية ؛ ولم يفكروا بتوسيع هذه الدراسات العلمية الحديثة لتتجاوز حلقة ضيقة من الاختصاصيين والتقنيين تحتاهم الدولة بصورة مباشرة . هذا الموقف المتناقض ، ملخص غاماً في عبارة « تشانغ تشي - تونغ » الشهيرة : « ان العلم الغربي قد تكون له فائدة عملية ، ولكن المعرفة الصينية التقليدية تظل تشكل ركيزة المجتمع » (سي - هيوي يونغ ، تشونغ - هيوي ين) .

ولكن هذا « النظام القديم » كان له خصوم ذوو عزيمة ، هم ، بالعكس ، من أنصار انتشار بدون حدود للعلم الحديث . وهذه النقطة من برنامجهم تسير جنباً إلى جنب ، في نظرهم مع نهاية الملكية المطلقة ، ومع ذهاب سلالة الماندشو ، ومع التحديث في الاقتصاد الصيني ، ونهاية نظام الامتحانات القديمة المرتكزة على المعرفة المحصورة بالمعارف الكونفوشية الكلاسيكية .

ومنذ منتصف القرن ، كانت هذه الأفكار التحديثية منتشرة في دولة التايبنغ (Taiping) المنشقة التي ظلت لمدة تقارب الخمسة عشر عاماً ، تتحدى الماندشو في وادي يانغستي . واقترح رئيس وزراء تايبنغ ، « هونغ جن كان » - الذي كان معلم دين بروتستنتي قديم في كانتون وفي هونغ كونغ - سنة 1859 ، على قريبه « هونغ سيو سيوان » ، « الامبراطور السماوي » ، خطة تجديد للصين . وفيها اقترح أن فن الخط ، والأظافر الطويلة ، والحلي هي أقل فائدة من القطارات ، ومن موازين الحرارة والطقس ؛ وفيها اقترح تغطية الصين بالسكك الحديدية ، وبشبكة من المستشفيات ، والمصارف والمصانع المزودة بالآلات الحديثة .

وفي آخر القرن ، استمر التحديث العلمي يشكل عنصراً أساسياً في الراديكالية السياسية . ونغاي الفيلسوف الشاب ناد سو-تونغ ، مرافق المصلح « كانغ يو-وي » ، « السلفية الكاملة » في الصين . وبخلال « المئة يوم » التي بقي فيها « كانغ يو-وي » وأصدقائه في الحكم ، بخلال صيف 1898 ، كان

أحد أشهر المراسيم الاصلاحية التي قدموها للامبراطور تتعلق بتعميم التعليم العلمي الحديث . ولكن الأحزاب المحافظة سرعان ما أجبرت المصلحين على الحرب الى اليابان . وألقي القبض على تان سو-تونغ وقطعت رأسه بأمر من البلاط .

وكذلك كان موضوع التقدم العلمي يحتل مكانة كبيرة في أفكار « سن يات سن » ، والحلقات الأولى من المثقفين الجمهوريين الذين ظهروا في مطلع القرن العشرين . وكون سن يات سن قد اهتم في بادئ الأمر بالطب الحديث ، قد ساهم حتى في عدائه الكامل « للنظام القديم » واحترامه للعلم الحديث انعكس باستمرار في كتاباته السياسية .

النهضة العلمية في اليابان منذ عهد الميجي .- في 8 تموز 1853 ، ألقت العمارة البحرية الاميركية بقيادة بيرى Perry مراسيها تجاه يedo (Yedo) : وهكذا بدأت سلسلة من الضغوطات العسكرية والدبلوماسية أجبرت اليابان على « الانفتاح » بدورها أمام الغربيين . ولكن هذه الهزيمة ، بخلاف الهزيمة التي حلت بذات الوقت ، بالصين ، أحدثت في اليابان نقطة لدى العناصر القيادية ؛ وقرروا أن يحدّثوا البلد بصورة جذرية ، وأن يقضوا على « النظام القديم » الاقطاعي ، وأن يبعثوا - كرمز لليابان الجديدة - سلطنة الميكادو ؛ وحملت « ثورة 1868 » الى العرش الامبراطور الشاب موتسوهيتو Mutsuhito ، الذي أطلق على حقبة حكمه الاسم المعبر « ميجي » Meiji أي « السياسة المستنيرة » .

وسوف يحل المصلحون من منشأ أرستقراطي « ساموراي » أو تجاري - وهم باعثو اليابان الجديدة- وبسرعة محل التنظيم السياسي والاقتصادي الاقطاعي في البلد ، عن طريق دولة تسلطية من النمط الحديث : فسوقوا انتاج الأرض، وطوروا الحركة الآلية الصناعية ، ووحّدوا العملة والأوزان والمكاييل ، واستبدلوا الضريبة العينية بضريبة نقدية ، وقفوا المركزية ، وحدّثوا الادارة والجيش والبحرية . ولكن من أجل تنفيذ هذه التحولات العميقة ، لم يكن بالإمكان الاكتفاء ببعض المهندسين والتقنيين والمستشارين الأجانب المستجلبين من الغرب : كان لا بد من تدريب اليابانيين أنفسهم لاستخلاص عدد كبير من الكادرات القادرة . ووجدت حكومة الميجي نفسها أمام ضرورة إعطاء دفعة قوية للتعليم العلمي الحديث وللبحث العلمي .

وأصبحت دراسة العلوم إجبارية في التعليم الثانوي والعالي . ومنذ 1868 ، أقيمت في طوكيو مدرسة الطب (ايفاكوشو) ومدرسة المعرفة الأجنبية (كيسيهو) ، اللتين اندجتا سنة 1877 في جامعة طوكيو . وأنشئت جامعات حديثة أخرى سنة 1899 في كيوتو ، وسنة 1903 في فوكوكا ، وفيها بعد ، في مدن أخرى . وكان التعليم يتأمن فيها في البداية بواسطة أساتذة أجانب ، ومن قبل تلامذة رانغاكوشا (Rangakusha) الحقبة السابقة (« متخصصون بالعلم الهولندي ») ، سرعان ما استبدلوا بعلماء يابانيين درسوا في الخارج وفي هذه الجامعات بالذات .

في الطب مثلاً جاء أطباء إنكليز وأميريكيون وألمان بصورة خاصة (عندما اكتشف اليابانيون أن غالبية الكتب الطبية الهولندية التي كانت معروفة عندهم حتى ذلك الحين ، كانت مترجمة عن الألمانية) ، وذلك بين 1870 و 1880 ، الى اليابان وأخذوا يدرّبون أطباء يابانيين . وتأسست أول مجلة دورية حديثة طبية سنة 1873 ، كما قام معهد لاعداد المصل ضد الجدري سنة 1874 وفي سنة 1890 أقيم

أول مؤثر ياباني للطب الحديث . وساهمت التدابير التشريعية في مسار هذه الانجازات التقدمية : قانون حول ممارسة مهنة الطب (1875) ، قانون حول بيع الأدوية (1877) ، قانون لمكافحة الأوبئة (1880) .

ونمت فروع أخرى من العلم الحديث - كانت تعتبر قبل « الميجي » مشبوهة ، أو تستحق العداء ، من قبل قادة اليابان القديمة - بدون عقبات . من ذلك الرياضيات التي دفعتها الى الشهرة مثلاً أعمال د. كيكوشي ، تلميذ قديم في جامعة كمبريدج ، والذي كان أول من شغل كرسي الرياضيات الحديثة في جامعة طوكيو ؛ ويمكن أن نرى في الأمر استمرار تراث قديم ، لأن الرياضيات « تانزان » كانت مزدهرة في أيام الطوكوغاوا ؛ ويمكن أن نرى فيه أيضاً التعبير عن الواقع الاقتصادي ، بمقدار ما كانت نهضة العلوم الرياضية غير مرهونة بتجهيزات حديثة كانت ما تزال حتى ذلك الحين نادرة ومكلفة .

وكان علم الجيولوجيا وعلم الزلازل موضوع عناية خاصة ، الأول بسبب احتياجات الصناعة الحديثة ، والآخر لأسباب تتعلق بالسلامة العامة . وتولى الألماني إيمان (E. Naumann) إدارة مكتب استقصاء منجمي ، أنشأته الدولة سنة 1878 ؛ وقام العلماء بالزلازل الانغلو سكسونيان جون ميلن John Milne وج. أ. إيونغ (J.A. Ewing) بتدريب تلامذة يابانيين كان أبرزهم خليفة ف. أوموري F.Omori الذي درس سنة 1892 الزلازل الأرضية في مقاطعتي مينو (Mino) وإواري (Owari) . وشكل « الديت » الامبراطوري بهذه المناسبة لجنة علمية للاستقصاء ، أعطت لعلم الزلازل الحديث التكريس الرسمي الكامل .

وفي مجال علم الاناسة ، على سبيل المثال ، لعب ا. من فورس (E.S. Morse) الدور الأساسي فنشر لأول مرة في اليابان نظرية التطور ، كما درس مع تلميذه من تسوبوا (S. Tsubota) وهـ. كاتو (H. Kato) أهل البلد الأصليين (الأينوس) في شمالي اليابان .

وباشكال عدة ، تسرب العلم الحديث ، منذ أواخر القرن التاسع عشر ، الى الحياة العامة اليابانية . وبدأ وضع الخسائر العامة للبلد بشكل ورشة ، خاصة خارطة استكشافية من مقياس واحد على أربعمئة ألف ، وخارطة مفصلة من مقياس واحد على مائتي ألف. واعتمدت الروزنامة الشمسية الغريغورية بصورة رسمية منذ 1872 وبخلال نفس الحقبة تقريباً اعتمد النظام المترى الدولي . وأنشئت شبكة من محطات الرصد للأجواء في كل أطراف البلد .



وفي أواخر القرن التاسع عشر ، أصبحت عملية دمج بلدان الشرق الأقصى في حقل نشاط العلم الحديث متقدمة للغاية . وإذا كان تقدم هذا العلم الحديث سريعاً جداً في اليابان ، في حين أنه في الصين أثار جغرافياً واجتماعياً اهتمام جزء صغير من البلد ، فذلك لأن تراجع النظام القديم التقليدي قد تأخر في اليابان ، ولكنه بالعكس بالكاد بدأ في الصين .

مراجع الفصل السادس

K. BIGGERSTAFF, *The Tung Wen Kuan* (*Chinese social and political science Review*, oct. 1934); G. CHEN, *Lin Tse-hsu*, Pékin, 1934; ID., *Tseng Kuo-fan*, Pékin, 1935; J. FRYER, An account of the department of translation of foreign books at the Kiangnan arsenal (*North China Herald*, 24 janv. 1880); W. LOCKHARDT, *The medical missionary in China*, Londres, 1861; E. R. HUGHES, *The invasion of China by the Western World*, Londres, 1937; C. OKUMA, *Fifty years of modern Japan*, Londres, 1910; TENG SSU-YU et J. K. FAIRBANK, *China's response to the West, a documentary survey, 1839-1923*, Harvard University Press 1951; K. C. WONG et T. L. WU, *History of the Chinese Medicine*, Tientsin, 1932; INAZO NITOME, *Western influences in Modern Japan*, Chicago, 1931 (voir dans ce volume l'article de A. KUWAKI, Development of the study of science in Japan); Third Pan-pacific science Congress (Tokyo, 1926), *Scientific Japan, Past and Present*; E. YAGI, How Japan introduced Western Physics in the early Years of the Meiji (1868-1888) (*Scient. Papers of the Col. of gen. Educ., Univ. of Tokyo*, 9, 1, 1959); S. YAJIMA, Les sciences physiques au Japon durant l'ère de Meiji (1868-1912) (*Arch. int. Hist. Sci.*, 9, 1956); Chitoshi YANAGA, *Japan since Perry*, New York, 1919.

الفهرس

أ -

- ابراهيم 192 .
 ابردين 442 .
 ابركومي 584 .
 ابستين 602 .
 ابلمان 356 .
 ابن بطوطة 653 .
 ابن اليطار 660 .
 ابن حمزة المغربي 658 / 659 .
 ابن سينا 660 .
 ابن ماجد اسد 661 .
 ابو الوفا 38 .
 ابولد 263 .
 ايفور 499 .
 آبل 63 / 64 / 68 / 72 .
 آبل هوفلاك 568 .
 ايلوس 604 .
 ايتغر 594 .
 اتاناس دويري 281 / 379 / 590 .
 اتنا 376 .
 اوتور 483 .
 اتيان جوفروا سانت هيلر 366 / 367 / 384 /
 اتيان دز 409 / 412 / 418 / 421 .
 اتيان ماي 588 .
 آجن 567 .
 ادامس 598 / 602 .
 ادريان دي مورتيه 571 .
 ادريان ماري ليچندر 14 / 39 / 67 / 68 / 69 /
 80 / 82 / 83 / 85 / 584 / 595 / 602 .
 ادلبرت فون شاميسو 532 .
 ادلون 275 .
 آدم سنوك 367 / 368 / 375 .
 ادمون بيكريل 226 / 263 / 349 / 350 .
 ادمون دي سليس 406 .
 ادمون فريمي 467 .
 ادنيره 362 / 579 / 586 / 592 / 599 / 600 /
 609 / 630 / 631 / 673 .
 ادوار يرانلي 247 / 248 / 249 .
 ادوار بريه 551 / 593 .
 ادوار بوكسر 332 / 572 .
 ادوار بيت 570 / 571 .
 ادوار جتر 450 / 672 .
 ادوار دز 409 / 412 / 418 / 421 .

- ادوار ستراسبورجر 397 / 427 / 438 / 461 / 445 . ارمي 567 .
- ادوار سويس 376 / 386 . ارسين ارسونفال 475 .
- ادوار فان بينيدن 397 / 407 / 554 . ارسياك 379 / 423 .
- ادوار فرانكلاند 322 . ارسيبالد جيكي 371 / 384 / 386 .
- ادوار فينيان 564 . ارسيبالد كوير 322 / 585 .
- ادوار كوتوش 644 . ارغان 66 .
- ادوار لارنت 518 . ارفيدسون 353 .
- ادوار لارتيه 566 / 567 / 572 . ارکاشون 421 .
- ادولف بينار 609 . ارلنجن 629 .
- ادولف برونيارت 369 / 429 / 432 / 437 . ارلنماير 326 .
- ادولف کينلي 16 / 19 / 48 / 51 / 89 / 90 . ارمان ليفي 341 .
- 633 / 626 / 557 . ارماتي 602 .
- ادولف ورتز 316 . ارنست روزفورد 249 / 262 .
- اديت 305 . ارنست سولفي 633 .
- اديسون 203 / 599 / 604 . ارنست ماش 124 .
- اديتوب 162 . ارنست هايكل 554 / 568 .
- ادريجان 658 . ارنهولد 26 / 27 .
- اراسموس داروين 552 . ارهنبرغ 395 / 400 / 405 / 422 / 545 .
- اراغو 119 / 168 / 177 / 178 / 183 / 184 . ارهينوس 211 / 252 / 253 / 460 .
- 185 / 187 / 194 / 201 / 212 / 217 . اري 133 / 139 / 141 .
- 221 / 223 / 258 / 261 / 271 / 345 . اريزو 377 .
- 346 / 347 / 374 . اريك اشاريوس 437 .
- اران 581 / 600 . اريك فون شرمك 562 .
- إرب 601 . آساغراي 438 / 441 / 467 .
- اربوغاست 31 . اسبانيا 363 / 380 / 418 / 421 / 424 / 523 .
- ارثر شومستر 255 . 572 / 597 / 655 / 656 .
- ارثر کيلي 25 / 26 / 28 / 37 / 42 / 46 / 47 . اسپين 606 .
- 57 / 52 / 48 . اسپيناس 419 .
- ارجيل 600 . استراليا 380 / 406 / 421 / 431 / 439 / 440 .
- ارجيلندر 142 / 146 / 150 / 152 / 163 . 519 .
- ارخميس 43 / 77 . استروک 480 .
- ارسطو 128 / 453 / 489 / 490 / 491 . استلي کوير 581 .
- ارسماش 601 . استونيا 638 .

- اسطيمول 658 .
 اسكتلندا 379 / 371 .
 اسكتدينافيا 19 .
 اسكولي 57 .
 اسكيرول 583 .
 اسكيناري 461 .
 آسيا 16 / 382 / 439 / 638 / 663 / 664 .
 آسيا الشمالية 439 .
 آسيا الصينية 622 .
 آسيا الهندية 622 .
 آسيا الوسطى 439 .
 اشارد 267 / 596 / 605 .
 اشاريوس 633 .
 اشيلية 656 .
 اغاروت 633 .
 اغولهن 464 .
 افريقيا 16 / 407 / 438 / 439 / 653 / 661 .
 افريقيا الجنوبية 380 / 519 .
 افريقيا الشمالية 440 / 656 .
 افيناريوس 271 .
 اقليدس 105 / 634 / 673 / 674 .
 اكبرغ 353 .
 اكستروم 411 .
 اكوادور 439 / 518 .
 البرت دي ساكس 584 / 604 / 631 .
 البرت دي لا باران 371 / 379 / 386 .
 البرت غودري 380 / 386 / 422 / 519 / 520 .
 521 / 522 / 554 .
 البرت فون كوليك 396 / 398 .
 البرت هيم 374 / 375 / 376 / 378 / 633 .
 البرتي 369 .
 البرخت اويل 371 .
 البرخلد 567 .
- البيرو 384 .
 التمان 400 / 407 .
 التورم 462 .
 آل جيارد 415 / 421 / 530 / 551 .
 آلدياران 152 .
 الزاس 451 .
 ألسيد درويني 369 / 370 / 371 / 372 / 383 / 384 / 408 .
 الفان كلارك 134 / 157 .
 الفريد روسل والاس 424 / 553 .
 الفونس دي كندول 100 / 441 / 460 .
 الفيكوت دار شيك 369 .
 الكسندر برونيساوت 354 / 355 / 356 / 357 / 359 / 362 / 367 / 368 / 369 / 374 .
 الكسندر بوتليروف 323 / 324 / 542 / 640 .
 الكسندر بيرسون 672 .
 الكسندر دالاس باش 457 / 456 / 648 / 649 .
 الكسندر دي رودس 668 .
 الكسندر سوريل 377 .
 الكسندر فون همبولد 19 / 356 / 373 / 376 / 383 / 399 / 425 / 438 / 439 / 440 / 480 / 629 .
 الكسندر وايلي 673 / 675 .
 الكسي جوردان 561 / 562 .
 الكسي كومنين 655 .
 المانيا 23 / 33 / 35 / 46 / 48 / 54 / 57 / 60 / 66 / 71 / 72 / 74 / 176 / 211 / 262 / 333 / 334 / 357 / 359 / 360 / 369 / 370 / 380 / 386 / 394 / 402 / 408 / 409 / 411 / 412 / 415 / 421 / 422 / 427 / 461 / 476 / 477 / 478 / 479 / 480 / 482 / 483 / 497 / 498 .

552/526 / 519 / 518 / 517 / 439 .	572 / 554 / 538 / 522 / 519 / 503
اميركا الشمالية 381 / 418 / 440 / 516 / 517	597 / 587 / 586 / 585 / 584 / 583
572 / 524 / 519 .	627 / 607 / 606 / 600 / 599 / 598
اميركا الوسطى 410 .	633 / 632 / 631 / 630 / 629 / 628
اميركا اللاتينية 622 .	المانيا الشمالية 572 .
اميركان ما تميتكل سوسيتي 18 .	آل مورو 585 .
آمبي 463 / 395 / 346 / 176 .	آل ميشو 438 .
اميل ارنست آبي 118 / 146 / 173 / 176	الميرا 423 .
400 / 264 .	آل نغوين 668 .
اميل بواريمون 477 / 479 / 480 / 633 .	الهارد ميتشرليك 264 / 308 / 347 / 351
اميل بوريل 80 / 96 / 100 / 101 .	355 / 352 .
اميل بيكار 68 / 71 / 72 / 76 .	البرانت 345 / 344 .
اميل رو 451 / 450 .	اليس 422 / 311 .
اميل ريفير 568 / 573 .	اليسندرو دغلي اليسندري 372 .
اميل سرجنت 604 .	اليسندرو فولتا 205 / 208 / 209 / 210 / 214
اميل مالار 340 / 344 / 345 / 348 .	215 / 218 / 223 / 228 / 253 .
اميل موباس 413 .	اليشاغراي 203 / 467 .
اميل هونغ 371 / 375 / 379 .	آماغات 262 / 265 / 267 / 271 / 283 .
اميل هيدون 603 .	اماليوس دالوا 368 .
الأناضول 656 .	امبرواز تارديو 608 .
انتھوفن 610 .	امستردام 633 / 201 .
انتونيس دي ارييدو 666 .	اموسات 581 .
انحلمان 468 .	آمونتن 263 .
انجنهوس 454 / 455 / 456 / 467 .	آمي بوي 375 / 381 / 564 .
انجلين 369 .	اميدو افوغادرو 117 / 251 / 285 / 291 / 293
اندراد 124 / 586 / 598 .	298 / 299 / 304 / 309 / 310 / 313
اندرس جوناس انستروم 171 / 172 / 267 .	330 .
اندرلز 538 .	اميركا 16 / 25 / 60 / 235 / 250 / 359 / 369
اندروز 262 / 265 / 267 / 271 / 282 .	371 / 374 / 380 / 381 / 382 / 385
اندري دومون 380 .	410 / 411 / 412 / 415 / 438 / 517
اندري ماري امير 53 / 60 / 61 / 70 / 113	597 / 596 / 590 / 582 / 581 / 519
119 / 166 / 188 / 189 / 191 / 212	643 / 645 / 648 / 649 / 650 / 651 .
213 / 214 / 215 / 217 / 218 / 220	اميركا الجنوبية 363 / 382 / 383 / 384 / 412

اوتوا 363 .	221 / 227 / 228 / 229 / 230 / 231
اوتاي 539 .	234 / 236 / 237 / 238 / 243 / 267
اوتريخت 633 .	298 / 299 / 309 .
اوتو بوشلي 397 .	اندونيسيا 569 .
اوجين دويوا 569 .	انريك 36 / 52 .
اوجين رينيفيه 371 / 372 .	انريكو بيتي 23 / 57 / 75 / 261 / 262 / 263
اوجين غولديستين 254 / 255 .	264 / 265 / 281 / 294 / 307 / 308 .
اود 564 .	انسلم باين 332 .
اودس دي لوشان 379 .	انطوان بيكلير 596 .
اودوين 407 / 410 / 596 .	انطوان دي باري 417 / 429 / 545 / 546
اوديسا 481 .	547 .
اوديه 586 .	انطوني فريتش 423 / 437 .
اورال 637 / 638 .	انطونيوس ماتيجسن 605 .
اوربان الثاني 655 .	انفر 370 / 397 / 542 .
اورثو 326 .	انكلترا 14 / 23 / 24 / 33 / 41 / 46 / 47
اورسبرغ 461 .	60 / 62 / 88 / 133 / 176 / 211 / 333
اورسبورغ 629 .	360 / 362 / 369 / 370 / 371 / 377
اورستيد 187 .	379 / 380 / 382 / 395 / 402 / 410
اورفيل 586 .	411 / 412 / 415 / 421 / 422 / 424
اوروبا 13 / 15 / 16 / 235 / 250 / 362 / 371	433 / 461 / 478 / 518 / 519 / 552
379 / 380 / 382 / 407 / 411 / 437	554 / 564 / 581 / 582 / 583 / 584
439 / 440 / 472 / 478 / 516 / 517	585 / 587 / 588 / 590 / 597 / 606
519 / 524 / 572 / 576 / 581 / 582	608 / 609 / 631 / 643 / 648 .
621 / 626 / 628 / 630 / 638 / 654	648 / 643 .
655 / 659 / 660 / 661 / 662 / 666	انكين 674 .
672 / 674 .	اهرليش 602 .
اوروبا الشرقية 14 .	اهرليك 401 / 418 .
اوروبا الغربية 9 / 13 / 17 / 18 / 566 / 621	اهرنفست 215 .
623 / 627 .	اوبريمير 449 .
اوروبا القارية 62 .	اوبرهوزر 395 .
اوروبا القبطية 440 .	اويسالا 634 .
اوروبا الوسطى 15 / 634 .	اوينهيم 410 .
اوروبرتو 384 .	اوبويسون دي فوازان 386 .

- اورې 429 / 599 .
 اورېنيياك 518 .
 اوزبون ريتولدا 111 .
 اوستند 421 / 633 .
 اوسكار 397 .
 اوسلر 601 .
 اوسيپو بولودي اوليغرا 384 .
 اوغست بىراقى 88 / 262 / 343 / 344 /
 428 / 345 .
 اوغست دى كاندول 431 / 432 / 441 / 442 /
 443 .
 اوغست دى لارييف 211 / 213 / 216 / 217 /
 245 / 220 .
 اوغست دى مورغان 31 / 32 / 63 / 411 .
 اوغست كوت 14 / 587 / 628 .
 اوغست كيگولي 322 / 323 .
 اوغست لوران 311 / 313 / 318 / 319 / 320 /
 465 / 351 .
 اوغست لامير 397 / 400 / 476 / 553 .
 اوغست ميشال ليفي 352 / 356 / 357 / 358 /
 379 / 361 .
 اوغست ويزمن 555 / 561 .
 اوغسطين فرنل 177 / 179 / 183 / 184 / 185 /
 186 / 187 / 193 / 194 / 198 / 245 /
 246 / 257 / 258 / 259 / 346 .
 اوغسطين كورنو 93 / 96 / 197 .
 اوغسطين كوشي 22 / 23 / 25 / 26 / 29 / 30 /
 31 / 34 / 45 / 47 / 60 / 61 / 62 / 63 /
 64 / 65 / 66 / 67 / 70 / 71 / 72 / 73 /
 74 / 76 / 79 / 81 / 84 / 109 / 110 /
 111 / 112 / 121 / 159 / 177 / 178 /
 197 / 238 .
 اوغسطينو باسي 448 / 449 .
 اوفرنيا 515 .
 اوقيانيا 16 .
 اوكرانيا 655 .
 اوكسفورد 362 / 367 / 631 / 658 .
 اوكن 497 .
 اوليرس 153 .
 اولر 21 / 38 / 47 / 57 / 69 / 81 / 82 / 83 /
 85 / 86 / 108 / 109 / 111 / 112 / 113 /
 115 / 124 / 144 / 181 .
 اولزوسكي 262 / 271 / 284 .
 اولخ بك 653 / 658 .
 اولمستيد 154 .
 اولي 71 .
 اوليفر 249 .
 اوليفر ايفنس 643 .
 اوليفر وندل هولمز 582 .
 اوليفيه دى سار 453 / 583 / 604 .
 اوم 119 .
 اونا 604 .
 اونبروغر 577 / 578 .
 اونيموس 401 .
 اوهرل 318 .
 اوين 412 / 423 / 554 / 593 .
 ايتارد 604 .
 ايخنولد 246 / 258 .
 ايد نورغ 18 .
 ايدوكس 77 / 420 .
 ايرلنجن 19 / 42 / 43 .
 ايرلندا 422 / 424 / 508 .
 ايزابيل 661 .
 ايزي 568 .
 ايزيدور جوفروا سانت هيلر 539 / 340 .
 ايسلندا 345 .

- ايشيريش 417 .
 ايطاليا 19 / 23 / 27 / 33 / 41 / 47 / 48 / 54 /
 55 / 57 / 75 / 363 / 369 / 380 / 415 /
 421 / 478 / 479 / 523 / 585 / 597 /
 607 / 608 / 632 .
 ايفيليد 301 .
 ايفارست غالوا 22 / 23 / 72 / 81 .
 ايف دولاج 415 .
 ايفون فيلارسو 47 .
 ايكو 543 .
 ابلي دي بوسونت 356 / 358 / 359 / 370 /
 374 / 375 / 376 / 377 / 379 / 384 / 566 .
 ابلي دي سيون 597 .
 ابلي كارتان 101 .
 ايمانويل مارجوري 378 .
 ايمونس 369 .
 ايمي يونيلان 438 / 439 .
 ايميري 417 .
 ايمي كونون 70 / 71 / 192 .
 ايناس دوميكو 384 .
 ايوارت 598 .
 ايوليد 479 .
 آ . آغاسيز 402 / 422 / 501 .
 ا . و . ي . اكلر 433 / 434 .
 ا . امونس 382 .
 ا . انفلر 433 / 434 / 436 / 438 / 441 .
 آ . ي . اورتمان 425 .
 ا . اويرس 157 .
 آ . ايتون 381 .
 ا . باكر براون 590 .
 آ . بلين 397 .
 آ . براند 400 / 530 .
 آ . براون سيكارد 475 .
 آ . برتهولد 484 .
 آ . برون 428 .
 آ . بريل 52 / 466 .
 ا . برينشيم 63 .
 آ . ي . بريهم 411 .
 ا . بنديكسون 71 .
 ا . بنك 377 / 572 .
 ا . بواسيه 439 .
 آ . س . بويوف 640 .
 ا . بويليه 35 / 45 .
 ا . بوركني 635 .
 آ . ج . بورن 406 .
 آ . بوشي 447 / 448 .
 آ . ت . بولوتوف 638 .
 آ . بومل 380 .
 ا . ف . بيترس 145 .
 آ . بيريش 380 .
 آ . بيزون 380 / 476 .
 ا . بيفوت 379 .
 آ . ش . بيكونغ 136 / 137 / 138 / 148 .
 آ . تري 365 / 396 .
 آ . تراميلي 405 .
 آ . جرساكر 407 .
 ا . ك . جيغري 429 .
 آ . داستر 475 .
 آ . دافيد 439 .
 آ . س . دانا 363 .
 ا . دربي 384 .
 ا . دكينو 591 .
 ا . دوفرنوا 355 .
 آ . دوكلوا 451 .
 ا . دوماس 564 .
 آ . دوهرن 407 .

- آ . دېجان 407 .
 ا . ل . دي جوسيو 430 / 431 / 432 / 435 /
 آ . ف . فيدورف 340 .
 آ . پ . کارينسكي 640 .
 آ . کالماټ 451 .
 ا . دي کاترفاج 421 / 554 / 568 .
 ا . ب . کنول 658 .
 ا . د . کوب 382 / 412 / 516 / 519 / 524 /
 آ . 525 / 526 / 527 .
 آ . دي مارچيري 87 .
 آ . دي هاین 581 .
 آ . س . روسل 503 / 504 .
 آ . ريشت 597 .
 آ . ريشنو 411 .
 آ . سبسز 419 .
 آ . ستروش 410 .
 ا . ستيز نيرغر 436 .
 ا . سکاټني 350 .
 آ . سيپک 177 .
 ا . ر . آ . سير 498 / 536 .
 آ . شابلي 561 .
 ا . شرودر 32 .
 ا . ف . و . شمير 397 / 441 .
 ا . شوفو 476 / 482 .
 ا . شولز 467 .
 ا . م . شونفلز 344 .
 ا . شونک 468 .
 ا . ه . غارود 411 .
 آ . غريزول 580 .
 آ . غريز يباش 441 .
 آ . غودون 561 .
 ا . غوسا 70 .
 آ . غونتر 410 / 424 .
 آ . فريز 437 .
 آ . فوزنيه 601 .
 ا . فون بونج 439 .
 آ . فيدال 602 .
 ا . کورشلټ 536 .
 ا . کوس 411 .
 آ . کوفالفسكي 407 / 408 / 640 / 641 .
 ا . کومبيسکور 56 .
 آ . کوندټ 178 .
 ا . کوننهام 439 .
 آ . لاکروا 357 / 362 .
 آ . لامباديوس 463 .
 آ . لانغ 405 .
 آ . ر . لانکستر 536 .
 ا . لنز 229 .
 آ . ليري 602 .
 ا . ليموان 38 .
 آ . پ . مارتن 675 .
 ا . ج . ماري 482 .
 ا . ل . مالوس 181 .
 ا . مشينکوف 451 / 531 / 536 .
 ا . مکدويل 581 .
 ا . ف . مويوس 29 / 32 / 34 .
 ا . س . مورس 678 .
 ا . مولر 417 .
 آ . موننز 465 .
 ا . مويبرج 401 .
 آ . ه . ميرز 350 .
 ا . ميرسون 491 .

ا . م . مېکلسون 179 .
 آ . نابت 469 / 558 .
 آ . نهونځ 425 .
 ا . نومان 678 .
 ا . هامي 564 / 568 .
 آ . هليرين 425 .
 آ . هنري 439 .
 ا . هورفيتز 82 / 84 .
 ا . و . هولمس 589 .
 ا . هونځ فانځ 674 .
 ا . هيتشکوک 382 .
 ا . والز 599 .
 ا . ن . وايتهيد 32 / 33 .
 ا . ودغود 552 .
 آ . ورمځ 436 .
 آ . ويکوف 441 .
 آ . ويلسون 410 .
 آ . بيرسين 451 .

- پ -

پاياج 31 / 631 .
 پاپسکي 601 .
 پاپيت 177 / 208 / 340 .
 پاپوس 34 / 51 .
 پاناغونيا 383 / 527 .
 پاتري 598 .
 پاتريک مانسون 416 .
 پاترفال 173 .
 پانس 419 .
 پاتسون 407 / 559 .
 بادو 32 .
 بارا 326 .
 بارامتوا 176 .

باراند 369 / 407 / 409 .
 بارتر 584 / 587 .
 بارتيش 362 / 584 .
 بارتهيز 598 / 606 .
 بارتيلمي 596 .
 بارد 598 / 599 / 603 / 605 .
 بارکر 173 .
 بارکس 608 .
 بارکسون 583 .
 بارلو 606 .
 بارن 160 .
 بارنس 590 .
 باروا 379 .
 باروت 599 / 605 .
 باري دي سان فينان 29 / 54 / 60 / 112 / 121 /
 123 / 427 / 436 / 438 / 604 .
 باريس 18 / 22 / 75 / 77 / 90 / 96 / 99 / 114 /
 134 / 143 / 163 / 201 / 207 / 233 / 237 /
 311 / 318 / 319 / 322 / 360 / 362 /
 371 / 378 / 380 / 381 / 386 / 393 /
 402 / 403 / 408 / 410 / 447 / 448 /
 449 / 474 / 479 / 482 / 514 / 519 /
 549 / 553 / 557 / 565 / 566 / 569 /
 570 / 571 / 575 / 580 / 582 / 584 /
 587 / 589 / 591 / 597 / 608 / 626 /
 629 / 633 / 635 / 644 / 646 / 647 /
 649 .
 بازين 595 / 604 .
 باستروت 369 .
 باستيان 448 .
 باسکال 33 / 36 / 44 .
 باسکو 384 .
 باسيلو 604 .

- باسيل يرسين 608 .
 الياسيفيك 647 .
 باسيوني 597 / 222 .
 باش 48 .
 باشلوت 438 .
 باغاريا 519 / 176 .
 بافلوف 610 / 481 / 478 / 14 .
 بافي 607 / 586 / 578 / 398 .
 باكار 423 .
 باكر براون 604 / 590 .
 باكيلا 607 .
 بال 521 / 423 .
 بالادين 459 .
 بالاس 508 / 408 .
 بالياني 417 .
 باليرم 144 .
 باليسوت دي بوفوا 439 .
 باليه 604 .
 بانتيون 114 .
 بانسيري 423 .
 بانويلس 421 .
 بايان 458 .
 باير 583 / 468 .
 بايلي 584 / 152 .
 بايليس 521 / 423 .
 بدرو سيزادي ليون 517 .
 بدفيلد 517 .
 برات 603 / 584 / 418 / 382 .
 البرازيل 526 / 439 / 384 / 383 / 363 .
 برادلي 187 / 146 / 142 / 141 .
 براس 196 .
 براغ 635 / 599 / 398 / 362 / 144 .
 براغاز 591 .
 بران 600 .
 برانفل 438 / 434 .
 برانلي لودج 249 .
 برايوتون 602 / 403 .
 البرتغال 571 / 523 / 424 / 380 .
 برتن 579 / 476 .
 برتهولد 529 .
 برتهولين 345 .
 برتولي 290 / 241 .
 برتيلو 297 / 262 / 252 / 14 .
 برتولوت [برتوليت] 264 / 265 / 279 / 300 / 301 / 303 / 316 / 327 / 328 / 332 .
 628 / 627 / 353 .
 برتيني 52 / 51 / 50 .
 برتهوت 356 .
 برجرون 604 .
 برستويش 566 / 386 / 369 .
 برسوز 458 / 328 .
 برشلونه 635 / 363 .
 برغمان 535 / 354 / 305 .
 برهورس 554 .
 برلين 142 / 135 / 78 / 75 / 73 / 38 / 19 .
 144 / 155 / 156 / 242 / 362 / 386 .
 395 / 403 / 434 / 477 / 479 / 568 .
 630 / 588 / 579 .
 برمانيا 665 .
 برنار باليسي 507 .
 برناردي 427 / 341 .
 برناردي جوسيو 549 / 541 .
 برنارديولت 438 / 429 / 369 .
 برنتز 590 / 579 .
 برنستون 402 / 96 .
 برنسيپ 263 .

- برنخشم 291 / 436 / 543 / 544 / 545 / 546 .
 برنهارد ريمان 14 / 23 / 29 / 30 / 40 / 41
 42 / 43 / 50 / 52 / 53 / 55 / 56 / 57
 60 / 62 / 69 / 72 / 73 / 74 / 75 / 85
 112 / 231 / 640 .
 برنهام 148 .
 برنو 559 .
 برواردل 592 / 608 .
 بروستنتي 676 .
 بروجرئون 379 .
 برودينټ 598 .
 بروسيير 143 .
 بروستر 110 / 171 / 346 / 347 / 348 .
 بروست 582 / 608 .
 بروسه 658 .
 بروسي 416 / 579 / 580 / 581 / 582 .
 بروسيا 567 / 629 / 648 .
 بروشانت دي فيليه 358 / 386 .
 بروشكا 480 .
 بروغبر 363 .
 بروفانسا 375 / 376 .
 بروك 352 / 476 / 477 / 478 / 554 / 600 / 602 .
 بروكار 38 .
 بروكس 567 .
 بروكسل 442 / 626 .
 برومو ترياس 383 .
 بروتر 608 .
 برون سيكار 484 / 558 .
 بروني 61 / 201 .
 بروهټ 60 .
 بروهل 599 .
 بريانشون 33 / 38 / 45 .
 برييرام 362 .
 بريشار 137 .
 بريټونو 579 / 581 / 582 / 586 .
 بريري دي بواريمون 63 / 583 .
 بريزاك 599 .
 بريټلي 13 / 214 / 218 / 264 / 304 / 454 / 467 .
 بريټول 303 / 402 / 595 / 606 .
 بريټلو 19 / 629 / 630 .
 بريټوي ميريال 394 / 427 .
 بريټانيا 31 / 46 / 218 / 249 / 262 / 367 / 379 / 385 / 386 / 408 / 480 / 627 / 632 / 630 .
 بريغوت 598 .
 بريل 37 / 269 .
 بريم 155 .
 برينان 597 .
 بريهمر 607 .
 بريو 71 / 73 .
 بريوشي 24 / 27 / 47 / 55 / 75 .
 البطامي 659 .
 بشتيريف 602 .
 بطرس برغ 637 / 638 / 639 .
 بطليموس 151 / 658 .
 بغداد 655 / 656 .
 بغير 285 .
 بگلار 583 .
 بکين 673 / 675 .
 بلاتنر 353 .
 بلاغدن 285 .
 بلاک 52 / 265 / 422 .
 بلاکمان 418 / 468 .
 بلاتشار 415 .

بنديني 38 .	ملائشون 417 .
بنيامين فونكلين 647 .	بلانفيل 498 / 491 .
بو 600 / 583 .	ملائك 117 / 291 / 292 / 296 / 604 .
بواب 665 .	بلانكتون 422 .
بواريمون 449 .	بلانكو 439 .
بوازيه 597 / 482 .	بلايموت 421 .
بواسون 60 / 61 / 89 / 90 / 107 / 108 / 112 / 119 / 120 / 121 / 122 / 123 .	بلترامي 30 / 41 / 42 / 55 .
173 / 184 / 185 / 186 / 189 / 197 .	بلتيه 332 / 586 .
199 / 207 / 218 / 220 / 225 / 227 .	بلجيكا 19 / 369 / 380 / 415 / 421 / 422 .
231 / 234 / 360 / 603 .	478 / 561 / 564 / 567 / 633 .
بواسيرن 666 .	بلزك 510 .
بوانتنغ 146 / 120 .	بلغاريا 635 .
بوانسو 115 / 90 .	البلقان 656 .
بووف 249 .	بللافيتيس 24 / 29 / 51 .
بويرتوي 593 .	بللامي 459 .
بوئال 585 .	بل ماجندي 473 / 477 / 485 .
بوتانيكل غاردن 442 .	بلو خمان 531 .
بوتسدام 144 .	بلوكر 34 / 35 / 36 / 44 / 45 / 46 / 47 / 48 .
بوتشر 401 .	60 / 51 .
بوتشلي 529 / 395 .	بلو منياخ 369 .
بوتلروف 607 .	بلو نديوت 484 .
بوتنام 417 .	بليسي غورت 423 .
بوتين 594 / 595 / 598 / 606 .	بليفير 377 .
بوتيه 195 / 356 / 454 / 582 / 609 .	بليون 653 .
بوجانوس 498 .	بنجامين بيرس 25 / 28 / 650 .
بوجدروف 263 .	بنجامين تومسون 303 .
بودا 603 / 461 .	بنجامين سيليمان 385 / 650 .
بودابست 362 / 418 / 635 .	بنجامين هوسون 673 .
بودان 608 .	بندر 242 .
بودانت 306 / 351 / 355 .	بنسلفانيا 648 .
بودلوك 585 .	بنسود 596 .
بوديتش 478 / 481 .	البنديقه 498 .
	بدكت 483 .

- بور 54 / 72 .
 بورالي فورتني 32 .
 بورجوي 585 .
 بوردا 113 / 318 / 340 / 546 .
 بورسبه 531 .
 بوركيلوت 597 .
 بورگيني 395 / 400 / 422 / 630 .
 بورمستر 406 / 409 .
 بورنفيل 606 .
 بوري دي سان فانسان 396 .
 بورنيكي 357 .
 بوريل 97 / 593 .
 بوز 460 .
 بوست 376 .
 بوستل 481 / 644 .
 بوستفيلش 122 / 226 .
 بوستفولت 453 / 464 / 465 / 468 / 469 .
 بوستنسك 121 / 257 / 298 .
 بوشارد 588 / 594 / 595 / 602 / 603 / 607 .
 بوشت 419 / 579 / 606 .
 بوشير 192 .
 بوغسون 151 .
 بوفارد 156 .
 سوفون 335 / 362 / 366 / 489 / 490 / 493 .
 513 / 514 / 515 / 541 / 549 / 576 .
 585 .
 بوفيري 530 / 544 .
 بوفينه 379 .
 بوكي 71 / 73 .
 بوكلان 385 .
 بوكت 458 .
 بوگورت 410 .
 بوگوا 602 .
 بول 14 / 31 / 33 / 96 .
 بولاك 655 .
 بول اهرليخ 639 .
 بول برت 475 / 597 .
 بول دي يواريمون 63 / 78 .
 بول سيوكوانغ كي 674 .
 بول هنري 143 .
 بول هيغر 478 / 633 .
 بولوروفيني 21 / 22 / 23 / 24 / 632 .
 بولونيا 21 / 262 / 380 / 386 / 598 / 600 / 634 .
 بوليا 96 / 98 .
 بولكوفو 134 / 141 / 144 / 639 .
 بولوح 200 .
 بولترمك 289 .
 بولترممان 634 .
 بوليفيا 383 / 519 .
 بولس لي 401 .
 بولندر 449 .
 بومتر 606 .
 بومغارتن 600 .
 بومس 582 / 583 .
 بومهور 345 / 350 .
 بون 142 / 151 / 253 / 323 / 477 / 579 / 629 / 630 .
 بوبايرت 210 / 300 / 587 .
 بونافونت 604 .
 بونيلان 383 .
 بونتين 303 .
 بوند 175 .
 بونسيلي 273 .
 بوهم 461 .

بوھیمیا 362 / 369 / 370 / 409 / 423 / 567 / بیرمیر 599 .	
634 .	بیرنر 464 .
بوئترووگ 442 / 439 .	بیرو 202 / 275 / 383 / 439 .
بویر 115 / 579 .	بیرو غوف 582 .
بویزو 52 / 74 / 159 .	بیرونی 656 .
بویسان 269 / 45 .	بیری 32 .
بویل ماریوت 251 / 265 / 266 / 271 / 281 .	بیریش 369 .
282 / 285 / 292 / 293 .	بیریفو 567 / 568 .
بویو 584 / 582 .	بیرین 630 / 667 .
بویسه 161 / 262 / 263 / 271 / 281 / 531 .	بیرینیہ 379 .
592 .	بیزانس 303 .
بیار بوغر 137 / 152 / 167 / 168 / 348 .	بیزانی 353 / 360 .
بیار بیلون 493 / 500 .	بیزوت 583 .
بیار دوھیم 105 / 127 / 128 / 232 .	بیزولد 418 / 604 .
بیسار کوروی 236 / 315 / 344 / 349 / 350 / 609 .	بیسل 139 / 141 / 142 / 144 / 145 / 146 .
	262 / 162 / 157 .
بیار لوئس غینان 134 / 176 / 580 .	بیسی 384 .
بیازی 141 / 142 / 155 .	بیشات 585 .
بیان سان جیل 328 / 590 .	بیشف 535 / 542 .
بیرون 410 / 420 .	بیطور 564 .
بیت 572 .	بیکاریا 549 .
بیتر بارکر 672 .	بیکرنغ 151 / 153 / 163 / 417 / 465 / 466 .
بیتر بوفود یغلیو 661 .	بیکریل ف . تومسون 363 / 584 .
بیتر زمین 192 .	بیکسی 222 .
بیتر سون 286 .	بیکلار 418 .
بیترواج 328 / 592 .	بیکرک 415 / 460 / 598 / 603 / 606 / 631 .
بیدارد 266 / 423 / 459 / 585 .	بیل 517 .
بیلو 586 .	بیل فیتی 66 .
بیلوکس 591 / 606 / 607 .	بیل کوین 675 .
بیراد اکوستا 571 .	بیلروت 591 .
بیرام 432 .	بیللا ردی 369 .
بیرد 410 / 534 .	بیلوز 482 .
بیر منھام 590 .	بیلیت 202 / 417 / 419 / 599 .

ب . فرنك 586 .	بيمنت 363 .
ب . فلورانس 473 .	بين 586 .
ب . فيشر 386 .	بيتل 16 / 401 / 557 / 583 / 587 .
ب . ج . ج . كابائيس 575 .	بينليفي 52 .
ب . كمف 151 .	بينولت 599 .
ب . كيريلوف 439 .	بينوهليارت 33 .
ب . لانجفين 227 / 191 .	بينيكير 421 .
ب . آ . لوران 72 .	يسوت 177 / 185 / 187 / 188 / 202 / 212 .
ب . لومين 581 .	228 / 229 / 238 / 255 / 256 / 345 .
ب . ليفي 70 / 52 .	346 / 347 / 360 .
ب . ماري 602 .	بيسر 592 .
ب . مارشال 533 .	ب . التوم 411 .
ب . ي . مولر 423 .	ب . اورياني 154 .
ب . هنسن 158 .	ب . آ . بکلارد 585 .
ب . ل . ونزل 37 .	ب . يولزانو 19 / 31 / 62 / 72 / 75 / 77 .
ب . ت .	635 .
ترتاغليا 38 .	ب . بيليتيه 467 .
تارتو 638 .	ب . ترميه 379 .
تارديو 606 .	ب . ل . تشييفسف 639 .
تارشانوف 481 .	ب . ج . تيت 27 .
تارنيه 589 .	ب . تيلو 597 .
تاکامين 484 .	ب . ي . جابلونسکي 463 .
تالامون 592 / 605 / 606 .	ب . س . جاکوبي 220 / 640 .
تالسمان 422 .	ب . جرفي 518 / 525 .
تاماريس 421 .	ب . م . دپارد 666 .
تامان 468 .	ب . رودولف 176 .
تاناکا 203 .	ب . روسل 32 / 33 .
تان سوتونج 676 / 677 .	ب . روکلوس 592 .
تایلور 67 / 65 .	ب . ريبير 590 .
تراستور 602 .	ب . ريس 349 .
قراقايور 422 .	ب . ل . سکلاتر 424 .
قرايلي 533 .	ب . ش . شمزلنغ 564 .
ترانتويس 666 .	ب . ج . فان بندن 415 / 421 / 594 .

- ترانز وكريان 657 .
 ترايل 353 .
 تركستان 657 .
 تركيا 657 / 658 .
 تركيم 198 .
 نرلفال 400 .
 تروتن 195 / 196 .
 تروسو 580 / 581 / 586 / 588 / 589 / 600 .
 ترومسلدورف 603 / 605 / 606 / 607 .
 تريس 71 .
 تريفيرانوس 389 / 395 / 427 / 440 / 454 .
 463 .
 تريلوبيت 371 .
 تريپيل 569 .
 تريون وييلسبري 409 .
 تسانغ تشي تونغ 674 / 676 .
 تستوت 597 .
 تسن 664 .
 تسنخ كووفان 674 / 675 / 676 .
 تسي كوو هيانغ 674 .
 تشارلز 169 .
 تشرماك 89 / 352 / 357 .
 تشرنغ 569 .
 تشونغ هيو 676 .
 تشينشيپ 85 / 91 / 92 / 93 .
 تشيكوسلواكيا 435 .
 تفلېس 639 .
 تلبوت 171 / 172 / 174 .
 نندال 609 .
 ننگ كونغ تشن 674 .
 تنكريل دي يلاتش 606 .
 تن ولان 667 .
 توایتت 154 .
 توپلر 200 .
 توبنجن 629 .
 تودوك 668 .
 توران 666 .
 تورين 394 / 395 .
 تورث 436 .
 توركاى 564 .
 تورنر 353 .
 تورنال 564 .
 تورنفور 431 .
 توريشلي 77 .
 تورينو 71 .
 توشار 606 .
 توفيه 591 / 592 .
 تولان 430 .
 تولمان 242 .
 تولوز 597 / 655 .
 توليه 592 .
 توماس بايس 96 .
 توماس تومسون 301 / 302 / 439 .
 توماس جيفرسون 381 / 644 / 645 .
 توماس غراهام 360 .
 توماس لو 644 .
 توماس هوكلې 404 / 405 / 411 / 420 .
 421 / 424 / 425 / 433 / 501 / 502 .
 503 / 522 / 523 / 535 / 553 / 554 .
 توماس يونغ 119 / 170 / 181 / 182 / 183 .
 184 / 274 .
 توماشك 195 .
 توملينسون 196 .
 تونبرغ 633 .
 تونس 440 / 656 / 661 .

- تونكىن 665 .
 توي تە 667 / 668 .
 تېت 29 / 57 / 108 .
 تېرسىلېن 606 .
 تېرش 591 .
 تېرىيا 369 / 603 .
 تېسلتون دېر 440 .
 تېلورىيە 271 .
 تېمورلنك 658 .
 تېمىرياسىف 468 .
 تىن 491 .
 تېنارد 304 / 306 / 627 .
 تېندال 202 / 269 .
 تېوبالد 593 .
 تېودور ايس 410 / 555 .
 تېودور يوفىري 397 .
 تېودور دى سوسور 453 / 454 / 455 / 456 / 457 / 459 / 462 / 463 / 464 / 465 / 467 / 468 .
 تېودور شوان 395 / 396 .
 تېوفىلاتو 70 .
 تېوفىل دىفېدسون 409 .
 تېوفىل لاپنك 579 .
 تېوك 587 .
 ت . بىكروفت 406 .
 ت . سىيىت 416 .
 ت . ج . سىك 169 .
 ت . ش . شىرلى 572 .
 ت . غراب 175 .
 ت . آ . كونراد 408 .
 ت . لاكوردير 407 .
 ت . لويىز 638 .
 ت . ماير 265 .
 ت . ملفىل 169 .
 ت . ه . مورغان 532 / 538 .
 ت . مىشل 439 .
 ت . مىلاردىد 376 .
 ت . نوتال 410 / 438 .
 ت . هارتىخ 462 .
 ت . هندرسون 132 .
 ت . ولف 384 .
 . ش .
 ئورمان 369 .
 . ج .
 جاك برنولى 90 / 113 .
 جاك بوشرىدى بىرتس 565 / 566 / 567 .
 جاك دىكلو 99 .
 جاك كاسىنى 134 / 145 .
 جاك كورى 236 / 349 .
 جاكسون 581 / 584 .
 جاكوب شتاينر 19 / 26 / 34 / 35 / 36 / 38 / 46 / 47 / 633 .
 جاكوب هېل 398 / 449 .
 جاكوبى 19 / 22 / 24 / 25 / 26 / 27 / 46 / 54 / 68 / 69 / 72 / 74 / 75 / 75 / 107 / 108 .
 جاكوبوس ھىرىكوس فانت ھوف 177 / 251 / 253 / 262 / 285 / 287 / 325 / 328 / 330 / 353 / 460 .
 جاكىمونت 420 / 438 .
 جامس باجت 594 .
 جامس بىردى 581 .
 جامس جىكى 572 .
 جامس دانا 352 / 373 / 374 / 382 / 419 .
 جامس دىوار 172 / 284 .

- جان هامو 582 / 584 .
 جانت 417 .
 جانونس بوليه 19 / 40 / 95 / 96 / 98 / 634 .
 جانيتاز [جينيتز] 267 / 348 / 349 / 369 / 370 .
 جاوة 569 .
 جايار 450 .
 جاييس جول 116 .
 جاييس هال 161 / 361 / 369 / 382 / 385 .
 جاييس هوتن 355 / 373 .
 جاييس وات 116 .
 جرلاش 597 .
 جرلز 352 .
 جر هارد 357 .
 الجزائر 421 / 440 / 582 / 656 .
 جسلر 171 .
 جمناز ويسادن 78 .
 جملين 309 / 629 .
 جتي 576 .
 جنكيز خان 655 .
 جنيف 168 / 442 / 579 / 582 / 586 / 602 .
 جوان دي فيلاسكو 518 .
 جوهرت دي لامبال 448 / 450 / 582 / 593 / 609 .
 جوراسيك نورمانديا 515 .
 جورج بنتام 433 .
 جورج بول 31 / 32 .
 جورج سالمون 26 / 46 / 47 .
 جورج سيمون اوهم 166 / 197 / 218 / 220 / 228 / 233 / 250 .
 جورج غرين 60 / 206 .
 جورج غرينوف 379 .
 جورج فريدل 344 / 345 .
- جامس سميشن 645 / 646 .
 جامس سيم 590 .
 جامس طومسون 252 / 254 / 255 / 256 / 259 .
 جامس كلارك ماكسويل 29 / 60 / 98 / 99 / 101 / 119 / 120 / 165 / 166 / 170 / 189 / 190 / 191 / 192 / 206 / 212 / 222 / 226 / 228 / 229 / 231 / 232 / 233 / 234 / 235 / 236 / 237 / 238 / 239 / 240 / 241 / 242 / 243 / 245 / 246 / 247 / 251 / 255 / 256 / 257 / 258 / 290 / 293 / 632 .
 جامس ماديسون 645 .
 جامسون 367 .
 جان آلبرت 577 .
 جان باروا 16 .
 جان باتيست برو 523 .
 جان باتيست بوسنغولت 331 / 360 .
 جان باتيست دوماس 310 / 311 / 313 / 317 / 318 / 319 / 320 / 322 / 323 / 324 / 448 / 475 / 534 / 535 / 625 .
 جان باتيست دي مونه دي لامارك 549 .
 جان برين 98 / 255 / 275 .
 جان . ج . فالريوس 454 .
 جان دي لوريرو 666 .
 جان رينود 375 .
 جان سيبرت 666 .
 جان سينييه 454 / 455 / 456 .
 جان فيكتور بونسيلي 34 / 35 / 38 / 42 / 45 / 46 / 51 / 112 .
 جان كروفيليه 580 .
 جان كوفلر 666 .
 جان ليون بوزي 111 .
 جان نيغولا كوريسار 576 / 577 / 578 .

جورج فلایزون 666 .	جوستوس لیپخ 313 / 482 / 483 .
جورج فیل 464 / 465 .	جسول 228 / 262 / 267 / 274 / 275 / 279 .
جورج کانسور 31 / 43 / 57 / 60 / 76 / 78 .	283 / 284 / 292 .
86 / 80 / 79 .	جسول جاتسن 160 / 162 / 163 / 174 / 469 /
جورج کلود 284 .	482 / 478 .
جورج کوفه 489 / 491 / 492 / 494 / 495 /	جول رولین 380 / 547 .
496 / 497 / 499 / 501 / 503 / 504 /	جول غیرین 584 / 608 .
505 / 507 / 508 / 509 / 510 / 511 /	جول مارکو 379 / 381 .
512 / 513 / 514 / 515 / 516 / 517 /	جولي 447 / 461 / 601 .
518 / 520 / 521 / 525 / 564 / 565 .	جولیان 599 .
جورج و . هیل 60 / 650 .	جولیوس بلوکر 45 / 48 / 172 / 253 .
جورجیت 583 .	جولیوس طومسون 166 / 328 .
جوردانت 597	جولیوس فون سانش 427 / 429 / 431 / 436 /
جوزیا فیفس 644 .	438 / 453 / 457 / 461 / 462 / 463 /
جوزیا ویلاردجییس 29 / 30 / 60 / 99 / 122 /	467 / 468 / 469 .
252 / 253 / 280 / 291 / 292 / 294 /	جسولوس فون لیپخ 446 / 457 / 463 / 464 /
328 .	465 .
جوزیف آشیل لیل 325 .	جون ادامس 156 / 157 / 158 / 645 .
جوزیف برتران 63 / 85 / 89 / 93 / 464 .	جون ایفانس 566 / 569 .
جوزیف بنکس 209 .	جون بلیفیر 385 .
جوزیف دالتون هوکر 420 / 433 / 481 / 553 .	جون توری 438 / 543 / 544 .
جوزیف فوریه 24 / 59 / 60 / 61 / 62 / 78 /	جون تیلر 646 .
89 / 106 / 112 / 197 / 219 / 233 .	جون دالتون 13 / 116 / 117 / 264 / 269 /
جوزیف فون فرونهوفر 170 / 171 / 176 .	270 / 298 / 301 / 302 / 303 / 305 /
جوزیف ل . بروست 301 .	306 / 307 / 324 / 333 / 584 / 630 .
جوزیف لارمور 241 / 259 .	جون دودجون 673 / 675 .
جوزیف لیستر 176 / 449 / 590 / 591 .	جون رولین 464 .
جوزیف لیوویل 25 / 54 / 70 / 71 / 72 / 73 /	جون ری 377 .
78 .	جون فرایر 563 / 675 .
جوزیف ماستر 451 / 592 .	جون کونولی 587 .
جوزیف نوچیپور 666 .	جون کیرک 242 / 439 / 673 .
جوزیف هنری 223 / 234 / 248 / 647 / 649 .	جون لندلی 432 .
جوس 195	جون لویوک 569 .

- جون ماکون 438 .
جون هرشل 31 / 62 / 137 / 148 / 150 / 169 / 171 / 200 / 226 / 265 / 347 / 631 / 673 .
جونس هويکنز 650 .
جونکیر 34 / 36 / 51 .
جو هانس لیوڊي مدیس 661 .
جو هانس مولر 151 / 152 / 177 / 395 / 408 / 411 / 421 / 432 / 437 / 439 / 476 / 477 / 478 / 479 / 480 / 485 / 501 / 584 / 588 / 605 .
جویل بارلو 644 .
جیارد 407 / 417 .
جیا لونگ 668 .
جیامیلی 37 .
جیسس باریس 511 .
جیجیور 406 / 502 / 503 / 504 / 597 .
جیرار 21 .
جیرغون 19 / 31 / 33 / 34 / 38 / 45 / 66 .
جیر هاردت 311 / 312 / 313 / 320 / 321 / 322 / 323 / 597 / 606 / 625 .
جیروند 573 .
جیروسولافي 335 .
جیسن 601 / 629 / 650 .
جیسیپ تارتینی 201 .
جیفری 438 .
جیل بواریمون 630 .
جیل شمبورازو 383 .
جیلیرت 253 / 603 .
جیورجینی 48 .
جیوسپ بینو 32 / 44 .
جیوفانی روسی 582 .
ج . ب . اری 382 .
- ج . اسیرت 55 .
ج . الارد 98 / 115 / 169 / 171 / 228 / 251 / 329 / 265 .
ج . الین 411 .
ج . ب . آمیسی 541 / 542 .
ج . اندرسون 410 .
ج . اندریاس سورج 201 .
ج . ج . اودیون 410 / 448 .
ج . اورسل 177 / 182 / 324 / 365 / 445 .
ج . ب . اومالیوس دالوا 368 / 378 .
ج . ایثار 22 / 28 / 50 .
ج . ایری 156 .
ج . آ . ایونگ 678 .
ج . آ . باتاندیه 440 .
ج . باراند 409 .
ج . بالمر 173 .
ج . بالمن 411 .
ج . ب . بایر 429 .
ج . ل . بایل 584 .
ج . بتزفال 175 .
ج . ج . برزیلیوس 211 / 224 / 303 / 304 / 305 / 306 / 307 / 308 / 309 / 310 / 317 / 324 / 329 / 331 / 351 / 353 / 355 / 360 / 585 / 629 / 633 .
ج . ف . برسوز 332 .
ج . برناردی 341 / 437 / 458 .
ج . بکلار 476 .
ج . بوانکاربه 71 .
ج . بود نینلر 154 / 155 / 383 .
ج . بولت سکروب 377 .
ج . آ . مولنجر 410 .
ج . بوتان 176 .
ج . بوند 139 / 160 .

- ج . بونه 25 / 71 / 437 / 441 / 551 .
ج . بوهم 461 .
ج . بویر 379 .
ج . بیازی 154 .
ج . بیرارد 169 .
ج . بیرونی 372 .
ج . بیفیتو 365 / 366 / 383 / 393 .
ج . بیکوگ 62 .
ج . ب . بیوت 177 / 266 / 269 / 287 / 327 .
ج . تمبورال 661 .
ج . تیری 22 / 80 .
ج . تیتویس 154 .
ج . تم 262 .
ج . جاک 347 / 351 / 445 / 460 / 558 .
ج . ش . جامیس 178 .
ج . جولیا 77 .
ج . جونستون ستونی 251 .
ج . جیلبرت 372 / 465 .
ج . داربو 70 / 71 .
ج . دارمو 292 / 557 .
ج . دالمیر 175 .
ج . دالمان 409 .
ج . داندلان 24 .
ج . و . داوسن 382 .
ج . و . دوابر 175 .
ج . دولون 171 .
ج . دیدیکی 457 .
ج . ب . دیزای 408 .
ج . دیلافس 341 / 342 / 343 / 349 / 352 / 362 / 379 .
ج . دی مورتیه 569 .
ج . رتزیوس 410 .
ج . ل . رفردین 604 .
- ج . ک . روس 420 .
ج . روستان 514 .
ج . روشار 582 .
ج . رینز 170 .
ج . ویدبرغ 173 .
ج . ریسبولد 140 .
ج . ف . ریشمان 138 .
ج . ریشی 30 .
ج . سارس 407 .
ج . سپور 160 .
ج . ستارک 419 .
ج . ستهاکهوس 436 .
ج . ک . ستورم 263 .
ج . سٹوک 60 .
ج . سٹوکس 235 / 237 / 238 .
ج . ستیفن 289 .
ج . ستینس 384 .
ج . ستینستروب 421 / 532 .
ج . سلفستر 24 / 25 / 26 / 28 .
ج . سوربی 408 .
ج . سیریه 23 / 600 / 602 .
ج . شابرل 157 .
ج . شرماک 372 .
ج . ش . د . شریبر 437 .
ج . ت . شلوزنغ 465 / 466 .
ج . شمیلدت 159 .
ج . شس 674 .
ج . ف . شو 441 .
ج . س . شویر 463 .
ج . شیفر 56 .
ج . غال 156 / 157 .
ج . ب . غراسی 416 .
ج . ی . غرای 410 .

- ج . هـ . و . غوبرت 430 / 437 .
ج . آ . غولدفوس 408 .
ج . هـ . غابر 405 .
ج . فاسور 379 .
ج . فالرت 608 .
ج . ب . فان هلمونت 453 .
ج . ف . فرانسى 66 .
ج . فروينوس 82 / 84 .
ج . فسك 441 / 461 / 462 .
ج . ل . فور 590 / 591 .
ج . فوريس 579 .
ج . ب . فوشر 436 .
ج . فولكز 441 .
ج . ن . فون بوش 350 .
ج . ف . فيتزجيرالد 256 .
ج . و . فيذرستنهوف 648 .
ج . ك . فيربانك 676 .
ج . فيوسو 582 .
ج . كافستو 467 .
ج . كالپ 70 .
ج . كامبيش 409 .
ج . كانفيلهم 208 / 585 / 588 / 597 .
ج . ج . كايسر 172 / 173 .
ج . كلييس 436 .
ج . آ . كورنو 172 .
ج . آ . كولا مورن 558 .
ج . لامبير اوكوندورسي 31 .
ج . لامترى 386 .
ج . لامى 45 .
ج . ف . لروا 170 / 576 .
ج . ب . لوز 465 .
ج . لوكاس شامبونير 589 / 590 .
ج . لييمان 174 .
ج . ليبين 601 .
ج . ل . ليسنيه 463 .
ج . ليفي 171 / 172 / 175 / 435 .
ج . ماري 174 / 401 .
ج . مان 439 .
ج . ر . ماير 478 / 483 .
ج . ب . ميريل 363 .
ج . مهر 38 .
ج . موراي 422 .
ج . مورتيلى 568 .
ج . ي . مولدر 465 .
ج . مونستر 408 .
ج . و . ميچن 407 .
ج . ج . ميكل 497 / 536 / 539 .
ج . س . ميلر 409 .
ج . نيكول 380 .
ج . س . نيويرى 382 .
ج . هابرلندت 429 / 441 .
ج . هادامار 64 / 85 .
ج . هان 441 .
ج . هديوغ 435 .
ج . ف . هربارت 49 .
ج . ف . ش . هل 341 / 343 / 352 .
ج . همبيرت 51 .
ج . هورنر 24 .
ج . هوسمان 341 .
ج . د . هوكرت 425 / 439 .
ج . هومر 162 .
ج . هيم 409 / 602 .
ج . ي . ب . وارمنغ 441 .
- ٢ -
حاجى باشا 657 .

حسن بن محمد الوزان الزماني 661 .
حلب 655 .

- ج -

خراسان 657 .

- د -

دائي 210 .

دادي 401 .

دارست 539 .

دازيل 572 .

دافنبورت 418 .

دالين 450 .

داكوستا 666 .

دالمير 14 / 21 / 49 / 63 / 106 / 115 / 128 .

دالماسيا 249 .

دالو 573 .

دامور 347 / 353 / 360 .

داماشينو 598 .

دانديلان 24 / 45 .

دانتيال برنولي 14 / 84 / 90 / 91 / 92 / 94 /

111 / 270 / 292 .

الدانمارك 411 / 422 / 478 / 633 / 634 .

دانيلسن 407 .

دانسن 583 .

داهل 420 .

داوود الانطاكي 653 / 659 / 660 .

دايفيد بروستر 345 .

دايفيد جيل 142 / 143 / 145 .

دايفيد فوريس 384 .

دايفيد هيلبرت 18 / 27 / 42 / 44 / 57 / 74 /

84 / 85 .

دايفيد هيوز 203 / 248 .

ديرتز 264 / 265 / 267 / 268 / 281 .

ديويلر 607 .

درا بركا تالوغ 153 .

دراك 72 .

درمستاد 323 .

ديوير 333 .

دريش 401 .

دريفس 599 .

دمسيو 666 .

دفييلر 585 / 602 .

دل . كومايسو 38 .

دليش 581 .

دمشق 655 .

دواير 406 / 418 .

دويري 282 / 356 / 358 / 360 / 375 .

دويل 579 / 580 .

دويلر 199 / 291 .

دويلن 402 / 580 / 581 / 584 / 598 .

دويليكس 666 .

دويتون 362 / 384 / 489 / 517 .

دويوتي 465 .

دويوتيرين 576 / 581 .

دويين 33 / 45 / 48 / 415 .

دوتشي متميشا فيرنغن 18 .

دوتيه 407 .

دوجاردان 534 .

دوريات 134 / 145 .

دوردويه 566 / 568 / 573 .

دورهام 596 .

دوروثي لند ديكس 587 .

دوروزيز 598 .

دورو ستوك 401 .

دوروما 94 .

دوسلدورف 567 .	دبيرن 315 .
دوسو 202 .	ديتروشي 284 / 285 / 356 / 359 / 394 / 453 /
دوسون 370 .	456 / 457 / 469 / 460 / 461 / 463 /
دوشين جي بولونيه 476 / 598 / 600 / 606 .	467 / 469 / 472 / 482 / 541 / 584 .
دوف 200 / 666 .	ديبحيت 587 .
دوفاي 208 / 253 .	دي چساردان 395 / 405 / 406 / 409 / 415 /
دوفر 202 .	606 .
دوفنونا 358 / 360 / 362 / 379 .	دي سافنيه 407 .
دوفيل 359 / 400 .	دي فري 633 .
دوكلو بوکتر 547 .	دي فريسيه 121 .
دوگين کورنو 543 / 546 .	دي کلوازو 346 / 357 / 362 .
دولومبو 362 / 273 .	دي لاياش 359 .
دولون 261 / 262 / 263 / 264 / 265 / 266 /	دي لاتور 262 .
269 / 271 / 275 / 281 / 294 / 307 /	دي لاروا 175 .
308 .	دي لاروش 266 .
دولونغ 202 / 203 .	دي لا فيزون 462 .
دوماس 482 / 599 .	دي موافر 90 .
دوماليوس 359 .	ديداي 582 .
دومبروسكي 148 .	ديپرو 93 .
دومون 369 .	ديرسون 586 .
دوميريل 410 / 498 .	ديريکلي 31 / 59 / 62 / 64 / 73 / 74 / 81 /
دوميني 599 .	82 / 83 / 85 .
دومينيك لاري 581 .	ديزارغ 33 / 36 / 44 .
دود 606 .	ديزاي 349 / 379 .
دوناتي 159 .	ديزورم 266 / 644 .
دونکين 72 / 579 .	ديس 602 .
دونوفان 610 .	ديشما 671 .
دوهاميل دي مونسو 63 / 199 / 221 / 453 /	ديفري 430 / 461 / 462 .
473 / 454 .	ديفيناخ 581 .
دوهرن 504 / 505 .	ديفونتين 431 .
دوهيم 129 .	ديفي 169 .
دياسن 415 .	ديکارت 13 / 14 / 15 / 24 / 57 / 76 / 128 /
ديبرنز 262 .	473 / 235 .

- ديكسون 461 .
ديكمان 603 .
ديكوس جي هورون 174 .
ديلا بيلاي 438 .
ديلا رسو 71 .
ديلا فال 407 .
ديلانج 583 .
ديلوک 263 .
ديليس 349 / 353 / 356 / 357 / 359 .
ديمارست 373 .
ديماركي 590 .
ديماري 367 / 377 .
ديميري 314 .
ديموسي 468 .
ديموپريط 499 .
دينانت 567 .
دينو نفييلي 597 .
ديوآر 262 / 271 .
ديوڊات دولوميو 338 .
ديو سکوريد 660 .
د . اوليفر 440 .
د . برنولي 638 .
د . ن . بريانيکوف 467 .
د . برين 441 .
د . دوغلاس 438 .
د . دون 439 .
د . روزا 555 .
د . ه . سکوت 438 .
د . کيرکود 154 .
د . منڊلييف 640 .
د . ف . ويسر 363 .
راب 63 .
رابيس 200 .
راتکي 408 .
رأس الرجاء الصالح 440 .
راسيل 400 / 401 .
رافسون 24 .
رامسي 315 .
رامفورد 625 .
راملسبرغ 351 / 353 .
رامو 198 .
رامون اي کانخال 597 .
رانڊو 602 / 603 .
رانفيه 597 .
رانکين 195 / 196 / 262 / 266 .
رانفاکوشا 677 .
راولٽ 251 .
راوول بيکٽ 169 / 271 / 287 / 288 .
راير 584 .
رايلي 60 / 196 / 199 / 291 / 292 / 296 .
رايه 587 / 598 .
رپورغ 202 .
رهردين 607 .
رکلوس 605 .
رهين 591 .
رو 592 / 593 .
روان 447 .
روايه کولار 575 .
روبرت جاسي غرافس 580 / 581 / 604 .
روبرت جامسون 385 .
روبرت ريماک 398 .
روبرت ماير 116 / 228 / 467 .

- روبرت هارت 673 .
 روبرت ويلهلم برونن 135 / 168 / 171 / 172 /
 262 / 265 / 268 / 289 / 314 / 334 /
 478 / 585 .
 روبرتسون 600 / 609 .
 رويلوسكي 262 / 271 / 284 .
 روبنر 483 .
 روبنس 247 / 292 .
 روبيرس بروان 98 / 395 / 429 / 431 / 438 /
 439 / 441 / 542 .
 روبير غودوين اوستن 564 .
 روبير كوخ 449 / 592 .
 روبير ماير 274 .
 روبىكت 658 .
 روبيرز 359 / 596 / 598 .
 روبيرغ 262 / 265 .
 رودريك مور شيسون 367 / 368 .
 رودولف فيرشو 396 / 398 / 569 / 588 .
 رودولف كلوسويس 276 .
 رودولفي 406 .
 روز بوم 340 / 349 / 351 / 353 .
 روز نبوش 357 / 358 .
 روزنهين 69 .
 روزير دي لاشاسانيه 578 .
 روس 134 / 149 / 416 / 420 / 527 .
 روستان 583 .
 روسكوف 421 .
 روسكوني 535 .
 روسل 599 .
 روسيا 9 / 19 / 34 / 363 / 380 / 421 / 478 /
 481 / 523 / 582 / 590 / 621 / 637 /
 638 / 640 .
 روسيا الجنوبية 655 .
 روش 52 / 345 / 357 / 583 .
 روفز 462 .
 روکستانسكي 585 / 603 / 605 .
 رولاند 267 / 275 / 585 .
 رولن 464 .
 رولو 459 .
 روما 363 .
 رومانيا 380 / 635 .
 رومبيغ 600 .
 رومر 139 / 369 .
 رومفورد 116 / 264 / 265 / 267 .
 رومي دي ليسل 338 / 350 .
 رونجن 260 / 267 / 596 .
 رونج 173 / 586 .
 رويرسين 36 / 48 / 431 .
 ريوگور 56 .
 ريتز 169 / 218 / 249 / 304 .
 ريشي 673 .
 ريچيس 601 .
 ريختر 170 / 300 / 301 / 302 / 305 / 353 .
 ريخمان 265 .
 ريڊ 593 .
 ريس 591 .
 ريست 483 .
 ريستورو 377 .
 ريش كوهل 134 / 172 / 190 .
 ريشار برايٽ 580 .
 ريشار هرتويغ 397 / 529 .
 ريشارد اوين 411 / 499 / 500 / 501 / 502 /
 503 / 518 / 531 .
 ريشارير 602 .
 ريشرت 501 .
 ريشيليو 11 .

- ريفولو 566 .
 ريفاروسي 596 .
 ريفيه 400 .
 ريكاميه 581 .
 ريكيه 71 .
 ريلي 11 / 203 / 417 / 587 / 606 .
 ريليت 584 .
 ريساك 395 / 396 / 400 / 501 / 585 / 594 / 597 / 605 .
 ريسون 485 .
 الرين 379 .
 ريناد 357 .
 رينانيا 13 .
 رينر 461 .
 رينهارد 406 / 599 .
 رينود 579 / 585 / 657 / 659 .
 رينوسي 593 .
 ريني بير 80 .
 رينيسو 201 / 264 / 265 / 266 / 269 / 270 / 271 / 483 .
 ريومور 407 .
 ريومير 262 .
 ر . آ . فيشر 89 / 95 .
 ر . برتيلوت 516 .
 ر . بروكتور 149 .
 ر . برونز 348 .
 ر . بيفير 596 .
 ر . بلوم 356 .
 ر . بيكييت 262 .
 ر . د . ديديكين 14 / 23 / 28 / 43 / 64 / 76 / 81 / 82 / 84 .
 ر . دويوا 423 .
 ر . دي غراف 534 .
 ر . زوجا 401 .
 ر . زيلر 383 / 386 / 429 .
 ر . سيروس 439 .
 ر . ستورم 47 / 48 .
 ر . ش . كارنغتون 160 .
 ر . غرانت 409 .
 ر . غريفت 379 .
 ر . غوست 657 .
 ر . فورتون 439 .
 ر . فورون 338 / 365 .
 ر . فيلد 382 .
 ر . كلوزيوس 60 / 231 / 242 / 250 / 266 / 278 / 283 / 284 / 292 .
 ر . كونيغ 200 .
 ر . كوهلرورش 230 .
 ر . لسيوس 380 .
 ر . لنكستر 407 .
 ر . ليشيتز 70 .
 ر . ماري 598 .
 ر . ميمك 24 .
 ر . هـ . شريك 580 .
 ر . هارلان 517 .
 ر . هوك 176 / 394 .
 ر . و . شوفت 412 .
 ر . واغنر 534 / 535 .
 ر . وايت 439 .
 ر . ودهوس 62 .
 ر . ولف 160 .
 ر . يدجواي 411 .
 زادوك 603 .
 زنكر 597 .

- i -

سان حوريف 417 .	روتي 37 / 47 / 50 / 52 .
سان جوليان 474 .	زوريسخ 18 / 78 / 160 / 363 / 372 / 381 /
سان فاست 421 .	442 / 478 .
سان فرنييسكو 402 .	زورشر 379 .
سان فيليب 606 .	زوكر كندل 597 .
سان مارك جيراندان 474 .	زولتر 137 / 160 .
سانا 666 .	ريتا 85 .
سانت اندروز 421 .	زيتل 522 .
سانت كليرو دوفيل 262 / 263 / 313 / 316 .	زيركل 357 .
سانت لويس 442 .	زيلر 369 / 417 / 592 .
ساند بحر 369 .	زيلندا 380 / 424 .
سانكلير دوفيل 629 .	ريلسكا 406 .
سايفون 666 .	زيمان 192 / 194 / 227 / 259 / 633 .
سيالزني 377 / 447 / 479 / 533 / 534 / 632 .	زيمرمان 576 / 578 .
سينسر ولس 590 / 609 .	زينون الايلي 77 .
سينفل 407 / 417 / 530 .	- - -
سيكس 498 .	سابورتا 430 .
ستارك 269 .	سابي 597 .
ستاس 314 .	سادي كارنوت 53 / 116 / 117 / 273 / 274 /
ستانيسلاس هويني 375 .	275 / 276 / 277 / 278 / 290 .
ستانويس 406 .	سارس 407 / 422 / 535 / 583 .
ستاھل 195 .	سارلات 564 .
ستراسبورغ 311 / 446 / 564 / 575 .	ساش 397 .
سترلنغ 478 / 480 / 481 .	ساشيري 39 / 41 .
سترومير 353 / 581 .	سافارت 187 / 188 / 212 / 215 / 221 / 228 /
ستريكر 333 .	229 / 238 / 255 / 256 .
ستريهك 203 .	سافاري 147 / 148 .
ستشوف 478 .	سالر 653 .
ستفال 600 .	سالم هورستمار 464 .
ستمنستر 552 .	سالميو 421 .
ستداكر 410 .	سامويل ل. سوتارد 645 .
ستوي 27 / 28 .	سان بطرس بربغ 75 / 78 / 323 / 363 / 481 /
ستوري ماسكيلين 141 / 146 / 362 .	626 .

سمولوشوسكي 98 .	ستوف 82 .
سميث 419 / 423 .	ستوكس 29 / 64 / 171 / 193 / 584 / 598 .
سميثون تينانت 353 / 363 .	ستوكلازا 459 .
مسيناتي 402 .	ستوكهولم 173 / 305 / 351 / 363 / 403 /
سفافورة 674 .	629 / 633 / 634 .
سناهوس كركوس 588 .	ستول 578 .
سواب 370 .	ستولز 43 .
سواتو 672 .	ستيتي 607 .
سويران 582 / 586 .	ستيري 359 .
سوتون 599 .	؛ ستيفان آباتي 398 .
سوري 357 / 359 .	ستيفن هال 267 / 290 / 291 / 462 / 482 /
سوريا 655 / 656 .	657 .
سورين 178 .	ستيلن 400 .
سوسور 169 / 288 .	ستيليجس 63 / 75 .
سوكور 567 .	ستيالك 530 .
سولزر 209 .	ستيون 354 .
سولنهومن 410 / 412 .	سدويك 385 .
سوليت 420 .	سديلوت 592 .
سومطرة 569 .	سدبوت 659 .
سوميرن 579 .	سرتورنر 332 / 586 .
سون يات سن 673 / 677 .	سفانت ارهينيوس 251 / 330 .
سوند هونس 202 .	سكاريا 585 .
سونغ 672 .	سكينديافيا 572 / 633 .
السويد 57 / 304 / 369 / 370 / 371 / 415 /	سكودا 579 .
421 / 478 / 634 / 648 .	سلامسكي 666 .
سويس 383 .	سلوويتز 592 .
سويسرا 19 / 262 / 311 / 334 / 363 / 369 /	سلمير 247 / 257 .
371 / 380 / 381 / 409 / 415 / 441 /	سليمان القانوني 661 .
521 / 572 / 632 / 650 .	سلمان 417 .
سوينسون 281 .	سمبر 417 / 418 / 504 .
سي 148 .	سمبون 517 / 582 / 585 .
سي هيو 676 .	سمرقند 653 / 657 / 658 .
مبير 82 / 83 .	سملويس 582 / 589 .

شارل وورث 587 .	س . آ . فوريس 419 .
شارل ويلکس 645 .	س . ب . کراشينکوف 638 .
شارلز هنري دافيس 649 .	س . کورجنسکي 562 .
شارکوت 476 / 581 / 588 / 592 / 594 / 598 / 599 / 600 / 601 / 602 / 603 / 604 / 606	س . ف . لاکروا 45 / 53 / 61 / 62 / 89 / 90 .
شارين 592 / 596 / 598 .	س . ب . لنغلي 169 .
شاز 195 .	س . لوفن 409 / 421 .
شاسينيا 590 .	س . هـ . ميريام 425 .
شاميون 202	س . د . والکوت 409 .
شانتيميس 594 .	س . ويستار 517 .
شانس 176 .	س . وينو غراد سکي 464 / 465 / 466 .
الشانسيلاد 568 .	- ش -
شانکورتوا 314 .	شاربي 268 / 597 .
شتروس 602 .	شارف 83 .
شتوتغارت 598 .	شارل باباج 62 / 631 .
شروتر 35 / 159 / 420 .	شارل مل 473 / 480 / 583 / 585 .
شرودر 32 .	شارل تورنر 587 .
شريوک 608 .	شارل داروين 15 / 87 / 264 / 367 / 371 / 383
شفرول 324 .	411 / 417 / 419 / 424 / 430
شلاfli 47 / 49 .	438 / 445 / 469 / 502 / 503 / 504
شلنجر 422 .	505 / 518 / 519 / 520 / 523 / 526 / 526
شليدن 427 / 428 / 429 / 430 / 542 .	549 / 552 / 553 / 554 / 561 / 562
شليغل 29 .	568 / 591 / 640 / 650 .
شليمير 655 .	شارل دوفيل 348 .
شميرلان 369 / 427 / 448 / 450 / 592 .	شارل ريشيه 597 / 609 .
شميدت 269 .	شارل ستورم 24 / 60 / 73 / 202 / 633 .
شميدل 542 .	شارل فريدل 362 .
شنغهاي 672 / 673 / 675 .	شارل لويس دوماس 585 .
شوارتز 74 / 76 .	شارل ليبل 369 / 373 / 375 / 377 / 385
شوارد 133 .	433 / 446 / 552 / 564 / 566 .
شوان 449 / 477 / 586 / 588 .	شارل ميري 71 / 75 / 76 .
شودين 529 .	شارل نودين 558 / 559 / 560 / 561 .

- شور 28 / 82 / 419 .
شوسيه 586 .
شوشيزر 511 .
شوفار 603 .
شوفو 597 .
شولتر 601 .
شوماخر 67 .
شومل 578 .
شونديس 428 / 429 / 460 / 461 .
شونفالد 142 .
شونفورت 439 .
شويغر 217 .
شياپارلي 159 .
شياروجي 587 .
شيرر كستتر 262 .
شير نغتون 479 / 480 / 484 .
شيرون 573 .
شيسيبي 51 .
شيما 607 .
شيفاليه 175 / 176 / 395 .
شيفرز 28 .
شيكاغو 161 / 402 / 591 .
شيلان 588 .
شيلنغ 394 .
شيلي 169 / 264 / 287 / 383 / 384 .
شيليني 47 .
ش . آغارڊ 430 / 436 .
ش . اكسفر 172 .
ش . ر . بارنس 467 .
ش . ي . برتران 430 / 438 .
ش . ب . برسل 437 .
ش . برونيارت 409 .
ش . ل . بريهم 401 .
ش . ه . بك 439 .
ش . ل . بلوم 439 .
ش . ل . مونابرت 410 .
ش . ه . بيتر 410 .
ش . س . بيرس 28 / 32 / 157 .
ش . ه . بيرسون 435 .
ش . تالامون 596 .
ش . ل . تراپوت 440 .
ش . جاكلين دوفال 407 .
ش . جاكويي 67 / 158 .
ش . جورڊان 75 .
ش . جيچنپور 410 .
ش . ديبيرييه 522 .
ش . س . رافينسك 438 .
ش . روبين 587 .
ش . ش . سبرنكل 558 .
ش . سيفيريني 71 .
ش . ف . غارتر 542 .
ش . هارلي 542 .
ش . فلاهوت 441 .
ش . فوش 361 .
ش . فون ستود 35 / 36 / 38 .
ش . فيرونيز 44 .
ش . فيسنجر 605 .
ش . فيغيه 532 .
ش . فيلان 383 .
ش . كروس 174 .
ش . كريدي 607 .
ش . لاسيغ 588 .
ش . لوري 479 / 457 .
ش . ماكسيموفيتش 439 .
ش . مورشيون 603 .
ش . نيومان 27 / 74 .

- ش . ل . ويلدنوف 440 .
ش . ل . ويلدنيو 437 .
ش . وينر 38 .

- ص -

- صالح زكي 658 .
صوفوس لي 24 / 27 / 43 / 48 / 53 / 56 /
72 / 57 .
صوفيا كوفالفسكايا 71 .
صوفي جرمان 199 .
الصين 24 / 381 / 416 / 439 / 622 / 655 /
663 / 664 / 665 / 666 / 667 / 671 /
672 / 673 / 674 / 675 / 676 .
غاليب 603 .
غالي غاليرو 415 .
غالفاني 480 .
غالياني 93 .
غاليبي 12 / 77 / 132 / 473 .
غاليوتي 369 .
غاند 323 .
غانين 531 .
غايون 465 .
غبريال اندرال 579 / 580 .
غبريال فرّان 661 .
غبريال ليبمان 253 .
غبريال مورتيه 570 .
غراسوليت 371 .
غراتز 424 / 634 / 635 .
غراتيلوب 369 .
غراسي 415 .
غراف 406 .
غرافس 603 .
غراندوري 369 .
غرانديديه 383 .
غرانش 599 .
غراهام بل 203 / 313 .
غرناطة 656 / 661 .
غرو 394 .
غروير 596 .
غرويي 594 .
غروتوس 211 / 224 .

- ط -

- طليطلة 653 .
طوكيو 677 .
طولون 376 .
طوم 142 .

- ع -

- عبد السلام بن محمد العلمي 660 .
عدنان 656 .
عدنان عبد الحق 661 .
العراق 656 .

- هـ -

- هانوت 420 .
هارود 457 / 462 / 463 / 595 / 602 / 606 .
هارتر 558 .
هاردينهيل 387 .
هاسبار ايتار 579 .
هاسبار لورانت بايل 577 .

- غرودنر 359 .
 غروس 415 .
 غروننخ 633 .
 غري 467 .
 غريب 327 / 326 .
 غريزوك 606 .
 غريس 464 .
 غريسلي 375 .
 غريسنجر 583 / 602 .
 غريشو 456 .
 غريغور مندل 15 / 88 / 89 / 558 / 559 / 560 / 561 .
 غريغوري 132 .
 غريفي 370 .
 غريليش 346 / 349 .
 غريمالدي 181 .
 غرين 30 / 73 / 209 / 220 / 225 .
 غرينيتش 141 / 156 / 160 .
 غزافيه بيشات 576 .
 الغساني 659 .
 غلاسكو 322 .
 غلوسويتريس 383 .
 غلوج 415 .
 غلينارد 607 .
 غمبل 370 .
 غوب 504 .
 غويرت 370 .
 غويي 193 .
 غوبولد 406 .
 غوبل 428 .
 غوبلز 600 / 604 .
 غوتنجن 55 / 73 .
 غوتري 267 .
 غوته 427 / 498 .
 غودرمن 75 .
 غودشيلد 373 .
 غودسير 408 .
 غوردان 27 / 50 / 69 / 75 .
 غورسات 70 / 269 .
 غورو جانكين 544 .
 غوستاف رتزيوس 398 .
 غوستاف روبرت كير شهوف 30 / 60 / 135 / 136 / 152 / 166 / 171 / 172 / 199 .
 غريغور مندل 15 / 88 / 89 / 558 / 559 / 560 / 561 .
 غوستاف سيمون 590 .
 غوسيلي 379 .
 غولدباخ 85 .
 غول 599 .
 غولتز 479 / 484 .
 غولد شميت 340 .
 غولد قلام 601 .
 غولد فوس 409 .
 غويانا 384 .
 غويون 604 .
 غياث الدين جمشيد الكاشي 657 / 658 .
 غيتار 335 / 373 / 377 / 378 .
 غيلمستون 370 .
 غيسن 482 .
 غيلان 594 .
 غيليساك 117 .
 غي مارت 359 .
 غيمار 420 .
 غينيار 544 / 545 .
 غينودي موسي 595 .

ف -

- فابري 606 .
 فابروني 210 / 209 .
 فابري 173 .
 فابريسيوس 593 / 407 .
 فارسي 657 / 655 .
 فارلو 543 .
 فارلي 254 / 253 / 248 .
 فارليك 544 .
 فاس 661 / 660 .
 فاسكودي غاما 661 .
 فاشت 666 .
 فافر 275 / 265 .
 فاكا 32 .
 فال دي غراس 588 .
 فالك 596 .
 فالكوبر 566 .
 فالنتين 384 / 395 / 400 .
 فانسيا 635 .
 فالورت 605 .
 فالي بوسان 85 .
 فاليري 255 .
 فاليريوس 454 / 354 .
 فاليكس 583 .
 فام فوتو 666 .
 فان بدن 406 .
 فان بيك 214 .
 فان درواردن 37 .
 فسان دروالز 117 / 262 / 271 / 282 / 283 .
 633 / 284 .
 فان سوين 578 .
 فان هلمونت 262 .
 فانسان 594 .
- فانو 32 .
 فانوكسم 369 / 367 .
 فاني 162 .
 فايان 410 .
 فرانزول 599 .
 فرانز 287 / 266 / 262 .
 فرانز ليديج 398 .
 فرانزوج 349 .
 فرانسوا فرانك 476 .
 فرانسوا ماجندي 472 / 473 / 474 / 476 / 477 / 478 / 479 / 482 / 483 / 484 / 485 / 496 / 609 / 628 .
 فرانسوا ماري راوولت 285 / 286 / 287 / 320 .
 فرانسوا مايور 572 .
 فرانكفورت 410 / 579 / 591 .
 فرانكلاند 327 .
 فرانكلين 205 / 209 / 225 / 253 / 267 / 648 .
 فرايزر نيومان 30 / 229 / 232 / 238 / 340 / 341 / 347 / 349 / 352 .
 فريست 673 .
 فريين 609 .
 فردريك اوهرل 331 .
 فردين 262 .
 فردينان 661 .
 فرسوند 304 .
 فركاس بوليه 39 / 40 / 41 .
 فرمات 83 / 84 / 118 .
 فرنا 13 / 16 / 18 / 23 / 27 / 33 / 38 / 41 / 48 / 57 / 60 / 61 / 62 / 72 / 75 / 81 / 93 / 175 / 176 / 212 / 213 / 261 / 303 / 315 / 316 / 346 / 355 / 357 / 358 / 359 / 360 / 367 / 368 / 369 / 371 / 373 / 375 / 376 / 377 / 378 / 379 .

قلمنڭ 535 .	384 / 398 / 402 / 408 / 412 / 415
فلندرز 431 .	420 / 421 / 422 / 423 / 456 / 475
فلوچر 458 / 479 .	476 / 479 / 480 / 483 / 498 / 515
فلوجل 659 / 661 .	516 / 518 / 520 / 521 / 547 / 551
فلورتينو امفيو 527 .	554 / 558 / 561 / 564 / 567 / 571
فلورانس 476 / 483 / 490 / 508 / 554 / 566 /	581 / 582 / 585 / 588 / 590 / 592
608 .	597 / 598 / 599 / 600 / 602 / 604
فلورنسا 209 / 587 .	606 / 607 / 608 / 609 / 627 / 628
فلوريدا 381 .	629 / 630 / 632 / 633 / 648 / 666
فلوج 600 .	فرنسيس غالتون 87 / 88 / 100 / 558 .
الفليين 439 .	فرنهوفر 134 / 135 / 145 / 152 / 289 .
فليكس دوجاردان 395 / 412 .	فرنوي 605 .
فليمينڭ 153 / 401 / 409 .	فرهولست 419 .
فليونس 638 .	فروينوس 24 .
فترويل 383 / 439 .	فرويس 502 .
فنج 665 / 666 .	فروشن 593 .
فنلاي 593 .	فرويد 609 / 634 .
فنلندا 403 .	فري 89 .
فهرنهايت 262 .	فرييغ 114 / 362 .
فوات 30 .	فريتزمويلر 536 / 554 .
فوجاس دي سانتقون 384 .	فريتش 483 .
فوجل 148 / 153 .	فريدريك 606 .
فوجلسانگ 357 .	فريد لاند 592 .
فوديري 586 .	فريريش 603 .
فوربر نجر 502 / 504 .	فريه 479 / 480 / 485 .
فوريس 169 / 419 / 423 .	فكتور مونييه 566 .
فوركروا 351 / 353 / 575 .	فكتور 151 / 219 / 478 .
فورلانيي 584 / 607 .	فلا 480 .
فورني 359 .	فلبو 585 .
فورنييه 376 .	فلنشر 362 .
فوريل 419 / 422 / 423 .	فلنمان 195 .
فوريه 266 / 287 .	فلسطين 655 .
فوزان 566 .	فلڪس 609 .

- فوش 359 .
 فويغ 501 .
 فوك 27 / 353 / 357 .
 فوكوكا 677 .
 فوكولت 113 / 115 / 126 / 134 / 135 / 138 / 140 / 169 / 171 / 175 / 275 .
 فوكونو دوفرين 603 .
 فوكيلين 350 / 351 / 353 / 360 .
 فولبيان 594 / 600 .
 فولتا 165 / 264 / 297 / 480 / 632 .
 فولروت 567 .
 فون اوبولزر 585 .
 فون باير 503 / 535 / 536 / 537 .
 فون بورن 354 .
 فون بوش 409 .
 فون جيرلاش 401 .
 فون رات 357 .
 فون رومر 464 .
 فون ريتل 409 .
 فون زاش 131 / 154 .
 فون سيبولد 531 / 593 .
 فون شلوتهايم 369 .
 فون غراف 405 .
 فون لاسو 357 .
 فون لانغ 267 / 346 / 349 .
 فون موهل 462 .
 فونتويل 77 / 378 .
 فونغ تشاو تشنغ 668 .
 فوهن طومسون 422 .
 فويك 602 .
 فيتز جيرالد 195 / 259 .
 فيتز 469 .
 فيتنام 622 / 663 / 664 / 665 / 666 / 667 .
 فيتون 369 .
 فيدال 523 / 594 .
 فيلرسن 190 / 234 / 243 .
 فيدشكو 416 .
 فيدوروف 344 .
 فيران تارينوا 571 .
 فيرجينا 517 .
 فيرر 418 .
 فيرشو 449 / 477 / 479 / 584 / 593 / 594 / 599 / 603 / 605 / 608 .
 فيرورد 477 / 482 .
 فيزر 185 .
 فيزوف 373 .
 فيزول 77 / 138 / 246 / 264 / 349 .
 فيسيو 72 .
 فيشر 300 .
 فيفا 145 .
 فيفر 397 / 400 / 462 / 464 / 467 / 469 .
 فيغتي 32 .
 فيكتور بوزو 73 .
 فيكتور هيغو 12 .
 فيك دازير 490 / 493 .
 فيلادلفيا 363 / 402 / 442 / 517 / 644 .
 فيلي 379 .
 فيليب بيتل 576 .
 فيليب ك. حتي 655 .
 فيليب ريكورد 582 .
 فيليب فان تيغم 428 / 429 / 435 / 438 / 545 / 547 .
 فيليي 417 .
 فيل برانش 421 .
 فيلجويف 201 .
 فيليس 369 .

فيلكس كلين 24 / 27 / 36 / 39 / 41 / 42 /	ف . جواشيم ستال 54 .
43 / 44 / 47 / 48 / 49 / 53 / 57 / 69 /	ف . جوانات 564 .
77 / 82 .	ف . ي . جينيتز 356 .
فيلرمي 587 .	ف . جينيريني 377 .
فيلمين 588 / 589 / 592 .	ف . ف . راسيل 401 .
فيلبيرت 666 .	ف . ريخ 113 / 114 .
فيو 568 .	ف . رين 352 .
فيورباخ 38 .	ف . ف . زويف 638 .
فيول 162 / 275 .	ف . سفارت 203 .
فيينا 122 / 381 / 386 / 412 / 443 / 478 /	ف . سفاري 234 .
479 / 577 / 579 / 581 / 584 / 585 /	ف . ساندبرجر 369 .
586 / 591 / 605 / 634 .	ف . و . ستروف 132 / 134 / 141 / 145 /
ف . ايلس 400 .	146 / 148 .
ف . م . آشرسون 435 .	ف . سمث 407 .
ف . ك . اميخينو 383 / 412 .	ف . شاپويس 407 .
ف . انجل 56 .	ف . شودين 413 .
ف . انغر 430 .	ف . شولز 401 .
ف . اويرت 380 .	ف . ك . شويكار 39 .
ف . اودين 421 .	ف . ش . هرند 429 .
ف . آ . باسوف 484 .	ف . ل . غوتلوب فريچ 32 / 33 .
ف . م . بالفور 536 .	ف . ي . فرنادسكي 640 .
ف . ف . پتروف 640 .	ف . فرنيت 55 .
ف . برنار 386 .	ف . ب . فورس 439 .
ف . بلوم 400 .	ف . فون البرتي 368 .
ف . س . بودان 351 .	ف . فونتان 379 .
ف . بوشانان 439 .	ف . فوكيه 357 / 358 / 361 .
ف . بيك 350 .	ف . فيدوفسكي 398 .
ف . بيكنت 409 .	ف . كاتزر 384 .
ف . آ . تورينوس 39 .	ف . و . كلارك 363 .
ف . توماس 380 .	ف . كنستنت 341 / 409 .
ف . تيران 159 .	ف . كومستر 114 .
ف . ج . جاكوب هتل 585 .	ف . و . كوفالفسكي 523 / 524 / 526 / 530 /
ف . جاكونت 439 .	536 .

- ف . ل . كوماروف 439 .
 ف . كوهن 436 / 449 / 544 .
 ف . لتزينا 384 .
 ف . م . ج . لويتش 439 .
 ف . لوش 594 .
 ف . أ . ليبخ 311 / 317 / 318 / 323 / 331 / 334 / 629 / 650 .
 ف . لينار 255 .
 ف . ماروت 78 .
 ف . ماغان 601 .
 ف . أ . ميشو 438 .
 ف . ج . ف . مين 396 .
 ف . نرست 280 / 281 .
 ف . آ . نوريت 172 .
 ف . هوساي 551 .
 ف . ويغمان 463 .
ق -
 قازان 40 .
 القاهرة 659 / 660 .
 قبرص 380 .
 قديموس 510 .
 قرطبة 142 / 656 .
 قسطنطين بول 591 .
 القسطنطينية 658 .
ك -
 الكاب 137 / 143 / 145 / 150 .
 كابين 142 / 150 .
 كاب هورن 383 .
 كابري 401 .
 كابينيس 531 / 576 / 586 .
 كاتلان 66 .
 كاتوم غولد برغ 328 .
 كاتون 597 / 609 .
 كاخال 635 .
 كارانجوت 340 .
 كاربونيل 98 .
 كارتان 27 .
 كارتيلهاك 566 .
 كاردن 38 .
 كاركوف 639 .
 كارلسرو 243 / 626 / 630 .
 كارليس 210 .
 كارلوس 527 .
 كارل ارنست فون باير 481 / 500 / 534 / 540 .
 كارل بيرسون 88 / 89 / 91 / 94 / 95 / 558 .
 كارل ويمارت 398 .
 كارل زيس 176 .
 كارل ستال 407 .
 كارل سوريي 408 .
 كارل كورس 562 / 593 .
 كارل لودويغ 476 / 477 / 478 / 597 .
 كارل ناجيلي 396 / 427 / 428 / 429 / 430 / 437 / 462 / 467 / 543 / 546 / 555 / 561 / 585 .
 كارل نيومان 74 / 231 .
 كارل وايمستراس 14 / 19 / 64 / 68 / 69 / 70 / 71 / 72 / 74 / 75 / 76 / 78 .
 كاريوسينيز 397 .
 كاريولي 113 .
 كازان 323 / 639 .
 كلزوداتي 76 .
 كازمير بيكار 432 / 565 .
 كاستل نيفو 49 / 51 / 52 .
 كاسيت 606 .
 كافنو 332 / 586 .

- كافنديش 205 / 207 / 214 / 218 / 225 / 632 .
 كافولين 421 .
 كالاندر 263 .
 كالي 23 / 51 .
 كاليفورنيا 417 .
 كامبريدج 33 / 156 / 157 / 233 / 362 / 402 /
 508 / 552 / 631 / 632 .
 كامرلن اونسن 262 / 271 / 280 / 284 / 633 .
 كامرلنخ 270 .
 كاميراريوس 541 .
 كاميلو غولجي 398 .
 كان 311 .
 كانت 13 / 15 / 394 .
 كانناني 607 .
 كانتلي 673 .
 كانتون 672 / 673 / 674 / 676 .
 كاندول 432 / 433 .
 كانيزارو 313 .
 كانستد 369 .
 كانغ يو . وي 676 .
 كانون 153 .
 كانياردي لاتور 202 / 261 / 270 / 446 / 458 .
 كاهن 603 .
 كاي 587 .
 كايتيه 265 / 270 / 271 .
 كايين 77 .
 كايو 357 .
 كبلر 148 / 154 / 173 .
 كراكوفيا 634 .
 كرس 552 .
 كرسون 583 / 584 .
 كرميو 242 .
 كروجر 142 .
 كروفا 270 .
 كروف هيل 458 .
 كروفليه 584 / 585 / 588 / 600 .
 كرول 372 .
 كرونستد 354 .
 كرونيج 117 .
 كرويز 594 / 604 .
 كريستوفل 27 / 30 / 55 .
 كريستوف كولومب 98 / 119 / 120 / 187 /
 189 / 205 / 206 / 207 / 215 . / 225 /
 230 / 232 / 234 / 256 / 661 .
 كريستول 564 .
 كريستيون 580 / 586 .
 كريستي 518 / 572 .
 كريستيانا 363 .
 كريستيان بوهر 478 .
 كريستيان دوبلر 173 .
 كريستيان لوفن 478 .
 كريغار منزل 200 .
 كريغو 383 .
 كركشك 534 .
 كريل 19 / 38 / 40 .
 كريمونا 35 / 36 / 47 / 50 / 52 / 55 / 75 .
 كزافيه بيشات 393 / 394 / 471 / 472 .
 كلاباريد 406 / 417 .
 كلا بيرون 117 / 261 / 276 / 277 / 382 .
 كلادني 199 / 203 .
 كلارك 222 .
 كلبي 593 .
 كلفن 60 / 187 / 227 / 232 / 237 / 277 .
 كلوازو 346 / 347 .
 كلويري 401 .
 كلوت بيك 660 .

کلوج 398 .	کوبولي 590 .
کلود برنار 16 / 398 / 449 / 457 / 458 / 471 /	کوبولي 590 .
473 / 474 / 475 / 479 / 481 / 483 /	کوبوغي 631 .
484 / 587 / 588 / 601 / 604 / 628 .	کونتيير 417 .
کلوسن 384 / 531 .	کوتزيو 421 .
کلوسيوس 117 / 211 / 262 .	کوتزنگ 446 .
کلکتا 661 .	کوخ 450 / 607 .
کليش 27 / 47 / 48 / 50 / 51 / 52 / 69 /	کودازي 54 / 55 .
72 / 75 / 400 / 600 .	کودان 422 .
کليرو 113 / 156 .	کورنس 89 .
کليمان 304 .	کورنو 90 / 189 / 407 .
کليمانس روايه 554 .	کورپوليس 113 / 114 / 115 / 126 .
کليمنت 266 .	کورتي 200 / 597 .
کلينينغ 533 .	کورليوم 291 .
کمپرلند 301 .	کورزر 326 .
کميل جوردان 23 / 24 / 27 / 47 / 57 / 76 /	کوردر 357 / 435 .
80 / 344 .	کوردي يردى آند 373 .
کنت 552 .	کورنووي 303 .
کنتز بري 523 .	کورئيس 415 .
کندا 363 / 380 / 381 / 508 .	کورتاغليا 448 .
کنڊال 484 / 633 .	کورڊيه 565 / 566 .
کنڊي 195 .	کوريفان 583 / 584 .
کنستاد 511 .	کوروتا 586 .
کنساس 524 .	کورزيل 594 .
کنکي 200 / 201 .	کورفوازيه 603 .
کتور 333 .	کوردي [کوريا] 629 / 667 .
کهلر 601 .	کوس 600 .
کوان آ . تو 420 / 673 .	کوستا 408 .
کوب 51 / 52 / 383 / 415 .	کوسمان 409 .
کوبرنيک 126 .	کوميتشيف 459 .
کوبنهاغن 211 / 363 / 569 / 604 / 634 .	کوسمول 601 / 602 .
کويت 285 .	کوشمنستر 415 .
کوبولت 415 .	کوشن 589 .

- 604 . كوشر
 666 . كوشن
 407 . كوفالمكي
 418 . كوك
 61 . كوليج دي فراس
 116 . كولدتغ
 270 . كولاردو
 323 . كولبي
 383 / 384 / 439 . كولوميا
 401 . كولان
 407 . كوليري
 503 / 535 . كوليكور
 582 . كولس
 583 . كولن
 603 . كوليرا
 541 / 558 . كولروتر
 47 / 63 / 78 / 83 / 84 . كومر
 139 . كومون
 584 . كومل
 19 / 67 / 72 / 145 / 629 . كونيسينغ
 48 / 200 / 201 / 601 . كونينغ
 90 . كوندورسي
 247 . كوندت
 353 . كونتز
 367 / 368 / 379 / 519 . كوبير
 288 / 370 / 371 / 375 / كونستان بريفوست
 534 / 535 / 546 / 599 / 600 . كونستانس
 530 / 551 / 606 . كونتيكت
 382 . كونديك
 576 . كوهل
 607 . كوهل
 233 / 235 / 250 / 251 / 267 . كوهلر
 329 . كوهلمان
 664 . كيويشي
 419 . كييلت
 57 . كيركمان
 420 . كيرشنر
 678 . كيكونشي
 497 . كيلمير
 416 . كيليرن
 89 . كير
 145 . الكين
 664 . كي هان
 139 / 433 / 442 . كيو
 677 . كيوتو
 639 . كييف
 412 . كه نيرغ
 235 / 236 . كه . آ . بجركنس
 433 . كه . برانتل
 606 . كه . بول
 569 . كه . تومسون
 449 . كه . دافين
 384 . كه . ديجنهارد
 425 . كه . ل . رونيماير
 413 . كه . رودولفي
 640 . كه . ف . روليه
 172 . كه . رونج
 150 . كه . شورزشيلد
 422 . كه . شون
 428 / 429 / 438 . كه . غويل
 569 . كه . غوتلر
 522 . كه . فون زيتل
 439 . كه . ف . ب . فون مارتيرس
 45 . كه . و . فيورباخ
 439 . كه . س . كونت
 419 . كه . مويوس

لک . مالکي 155 .

لک . هوستمان 569 .

لک . هيدر 536 .

لافيت 645 .

لاکازدوتيه 407 / 417 / 421 .

لاکاسانيه 608 .

لالند 138 / 142 .

لامبیر 39 / 41 / 146 / 149 / 169 / 264 /

289 .

لامي 54 / 55 / 60 / 83 / 84 / 110 / 123 /

341 / 186 .

لاميري 71 / 539 / 540 .

لامبرت 262 .

لامارک 366 / 367 / 377 / 384 / 389 / 403 /

408 / 418 / 431 / 456 / 512 / 513 /

549 / 550 / 551 / 552 / 555 / 568 .

لامانون 367 .

لاميتيره 459 .

لانجلي 138 / 480 / 484 .

لاندوا 85 / 599 .

لان 162 .

لانجيفين 231 / 629 .

لانفیرغ 266 .

لانفر 318 .

لايوغريب 356 .

لاني 378 .

لانکستر 420 .

لانديشر 437 .

لانوليت 567 .

لانلس 572 .

لانلري 578 .

لاتيو 582 .

لاتيلونغ 596 / 605 .

لانجر هانس 603 .

لانسيرو 598 / 603 / 606 .

لاندوزي غراسيه 600 .

- ل -

لابلاس 14 / 60 / 61 / 74 / 87 / 88 / 89 /

90 / 91 / 95 / 96 / 106 / 108 / 112 /

116 / 121 / 158 / 197 / 199 / 201 /

202 / 206 / 212 / 213 / 218 / 233 /

263 / 265 / 266 / 282 / 360 / 474 /

649 / 482 .

لايوارث 371 .

لايش 382 .

لايريك 602 .

لاتو 400 .

لاتريل 407 .

لاريف 221 .

لارمور 235 / 237 / 259 / 431 / 436 .

لاروشفوکو ليانکور 582 .

لاسیر 11 .

لاستون 212 .

لاسيغ 601 .

لاغرانج 14 / 21 / 26 / 49 / 63 / 65 / 80 /

81 / 82 / 86 / 105 / 106 / 107 / 108 /

109 / 111 / 115 / 125 / 158 / 197 /

201 / 206 / 218 / 241 / 242 / 251 .

لاغيس 603 .

لافراريه 12 / 13 / 116 / 263 / 265 / 297 /

304 / 306 / 316 / 317 / 331 / 370 /

378 / 453 / 454 / 455 / 456 / 471 /

472 / 474 / 482 / 512 .

لافيزاري 350 .

لافيران 416 / 594 .

لانغولا 604 / 666 .	479 / 480 / 481 / 482 / 484 / 585 .
لا هوغ 421 .	لودج 249 .
لاهر 564 .	لودي 448 .
لاينسك 16 / 472 / 576 / 579 / 583 / 584 /	لودانتك 551 .
586 / 594 / 599 .	لودت 599 .
ليالات 450 .	لودار ماير 314 .
ليارد 584 .	لوروٲ 52 .
لشيك سوفسكي 543 .	لوران اوفنوس 122 / 323 .
لرميه 579 / 580 .	لوران شابري 537 / 539 .
لسلي 270 .	لوري 359 / 472 .
لشونه 403 / 635 .	لورد كلفن 373 .
لمبرت 423 / 581 .	لورنز 394 / 531 / 633 .
لندن 18 / 87 / 138 / 249 / 251 / 303 / 367 /	لورانسٲ 496 / 577 .
377 / 385 / 402 / 408 / 410 / 552 /	لورانت ترولي 565 / 625 .
553 / 566 / 568 / 569 / 582 /	لورين 589 .
583 / 594 / 602 / 604 / 625 / 631 /	لورانس اوكن 626 .
658 .	لوزان 371 .
لنديمن 37 / 86 / 647 / 649 .	لوسيان 357 / 359 / 478 .
لندستير 610 .	لوسيان غرين 375 .
لهمان 352 .	لوسيان لوكليرك 657 / 660 .
لوبلوخ 169 .	لوسن تيت 590 .
لوبل 177 .	لوشاتيلي 262 / 268 .
لوبايليف 353 .	لوشميت 293 .
لوبيكويتز 362 .	لوشارتيه 459 .
لوب 532 .	لوشكا 585 .
لوبستس 584 .	لوغيني 265 .
لويري 589 .	لوگران دوسول 608 .
لوتيمان 607 .	لوفرسوا 45 .
لوجي بيانكي 56 / 57 .	لوفريه 141 / 156 / 157 / 158 / 162 .
لوجيمو دي كراغادك 579 .	لوفونسوف 354 .
لوجيه 360 .	لوفن 535 .
لودويغ بولتزمان 60 / 99 / 101 / 111 / 118 /	لوفليز 593 .
200 / 235 / 290 / 292 / 293 / 294 /	لوك 372 / 576 .

لوکیر 153 / 161 .	لیانوف 91 .
لوکسمبورغ 318 .	لیاج 564 .
لوکارت 406 / 409 / 415 / 535 / 593 .	لیتیز 14 / 19 / 30 / 31 / 57 / 61 / 62 / 394 /
لوکانوس 464 .	631 .
لوکاس شامبونیر 590 / 591 .	لیزیخ 31 / 35 / 99 / 275 / 442 / 478 / 479 /
لوکوک 607 .	480 / 568 / 582 / 585 / 586 / 591 /
لولاس 424 .	607 .
لومر 291 .	لیشیز 49 / 55 / 108 .
لومیس 673 .	لییدیف 241 .
لونې 356 / 476 .	لیریخ 313 .
لونخ 581 / 591 .	لیرت 594 / 602 .
لونک 606 .	لیتل 606 .
لونو 634 .	لی ناک 667 .
لویجی خالفانی 207 / 208 / 209 / 210 / 632 .	لیتلف 668 .
لوئیس آغاسیز 377 / 402 / 407 / 421 / 519 /	لید 42 / 262 / 271 / 633 .
633 / 650 .	لیدی 415 / 519 .
لوئیس باستور 16 / 177 / 324 / 325 / 332 /	لیدیخ 417 .
343 / 347 / 348 / 352 / 390 / 404 /	اللیدو 498 .
445 / 446 / 447 / 448 / 449 / 450 /	لیدیرد 606 .
451 / 452 / 458 / 459 / 464 / 465 /	لیروا 201 / 330 .
467 / 473 / 476 / 547 / 590 / 591 /	لیریدي 599 .
592 / 593 / 609 .	لیز فرانک 581 .
لوئیس جوزیف غی لوسالک 13 / 251 / 261 /	لیستن 57 / 173 / 420 / 582 / 589 .
262 / 263 / 264 / 265 / 266 / 268 /	لیساجوس 199 .
269 / 270 / 271 / 274 / 285 / 292 /	لیستر 333 / 419 .
293 / 299 / 301 / 304 / 482 / 627 .	لیسیر 420 .
لوئیس داغر 174 .	لیشر 244 .
لوئیس رانفیه 398 / 400 / 401 .	لیشهایم 569 / 594 .
لوئیس ریته تولان 545 / 546 .	لیشمان 610 .
لوئیس لاریته 568 / 579 / 580 / 582 / 583 /	لی شي تش 668 .
584 / 587 / 599 .	لی شان لان 674 / 675 .
لوئیس مارتروشوب 547 .	لیخالوا 472 / 473 / 483 / 585 .
لوئیس مالوس 168 / 173 / 182 / 183 / 185 .	لیفت 45 .

- ل. نيفي سيفيتا 108 / 348 .
 ل. نيفي كريمونا 51 .
 ل. ليفربول 584 .
 ل. ليكوك دي بوا بودران 172 .
 ل. ليكورشي 596 / 601 / 602 .
 ل. ليلي 418 .
 ل. ليلجيپورغ 422 .
 ل. ليموان [ليمان] 38 / 423 / 586 .
 ل. ليماري 379 .
 ل. ليندولف 284 / 71 .
 ل. ليني 354 / 402 / 403 / 415 / 430 / 431 / 433 / 435 / 438 / 443 / 561 / 631 .
 ل. لينكولن 649 .
 ل. لين تسي سيو 674 .
 ل. ليو 661 .
 ل. ليون 474 / 476 / 561 / 568 / 591 / 597 / 602 / 603 / 608 / 609 / 661 .
 ل. ليون برنار 604 .
 ل. ليون غينار 397 .
 ل. ليون فوكولت 114 / 178 / 362 .
 ل. ليوفيل 18 / 19 / 22 / 51 / 84 / 85 / 86 .
 ل. ليودولت 350 .
 ل. ليوبولد فون بوش 356 / 358 / 373 / 374 / 376 / 380 .
 ل. ليونهوك 394 / 446 / 542 .
 ل. ليونارد دافشي 193 / 196 / 507 .
 ل. ل. اسديوت 654 .
 ل. ل. باشليه 101 .
 ل. ل. برافي 428 .
 ل. ل. برانتل 111 .
 ل. ل. برتران 379 .
 ل. ل. بورجوا 361 .
 ل. ل. بولستروف 463 .
 ل. ل. تروب 589 .
 ل. ل. ديلز .
 ل. ل. رو 247 .
 ل. ل. روتيمير 521 .
 ل. ل. م. - روزفورد 136 / 172 .
 ل. ل. ش. - ريشار 437 .
 ل. ل. مينسر 362 .
 ل. ل. ستيجنجر 410 .
 ل. ل. سوهنكي 341 / 349 .
 ل. ل. شلافي 19 / 633 .
 ل. ل. شماردا 424 .
 ل. ل. فوش 70 / 75 / 77 .
 ل. ل. د. فون شويتز 439 .
 ل. ل. فياليتون 501 .
 ل. ل. فيرمير 407 .
 ل. ل. كارنو 33 .
 ل. ل. كاريز 379 .
 ل. ل. كرونكر 14 / 23 / 24 / 27 / 31 / 69 / 78 / 80 / 81 / 82 / 84 .
 ل. ل. كوش 429 .
 ل. ل. كونك 369 .
 ل. ل. كيلت 436 .
 ل. ل. لورنز 231 / 257 .
 ل. ل. ليحي 413 .
 ل. ل. ليكوري 370 / 382 .
 ل. ل. ماركلوسكي 468 .
 ل. ل. ماشيرون 38 .
 ل. ل. مانجين 397 .
 - م -
 ماتياس جاكوب شليدن 270 / 395 / 396 .
 ماتياس دوفال 597 .
 ماتروشو 459 .
 ماتوكس 477 .

- ماتيوريثشي 602 / 672 / 674 .
 ماتيرون 369 .
 مادلر 148 / 150 / 159 .
 مادلين 572 .
 ماركوف 82 / 91 / 101 .
 ماركسيل برتران 375 / 376 / 378 / 603 .
 ماركسيل بريوليون 99 .
 ماركوني 249 / 474 .
 ماريوت 269 / 582 .
 مارك انطوان غودين 309 / 399 .
 مارك بلوك 598 .
 مارك داكس 583 .
 ماري كوري 315 / 409 / 476 / 598 / 604 .
 مارياش 347 .
 مارشا نيتا 394 .
 مارتان 401 .
 مارتوس 438 .
 مارشال هال 477 / 480 / 485 / 602 .
 مارش 524 .
 مارسيلين بول 379 / 524 / 567 / 572 .
 مارسيلينو سوتولا 572 .
 مار اغليانو 597 .
 ماريون سميت 590 .
 مازاندا 657 .
 ماسيون 171 / 416 / 591 .
 ماسيو 280 .
 ماسا شومس 381 / 382 / 647 .
 ماس دازيل 570 .
 ماشيرون 38 .
 ماغنوس 46 / 51 / 262 / 265 / 267 / 269 / 419 .
 ماسكارلان 29 .
 ماك انتوش 407 / 421 .
 ماك انيري 564 .
 ماك دوغال 461 .
 ماك كولاف 46 / 48 / 437 .
 ملك لير 145 .
 ماكليورين 50 / 51 / 385 .
 ماكس بلاتك 280 .
 ماكس شومستر 352 .
 ماكس شولتز 395 / 401 .
 ماكس كريدي 587 .
 ماكس كورنو 546 .
 ماكس ويبر 422 / 531 .
 ماكليم 456 .
 ماكين 468 .
 ماكلو كونغ 666 / 672 / 673 .
 مالتوس 15 / 137 / 345 / 553 .
 مالار 352 / 357 .
 ماليجي 394 .
 مالكوفيه 551 .
 مالغينه 581 / 582 / 585 .
 مانسستر 255 / 301 / 369 .
 ماننل 369 .
 مانشكور 565 .
 مانتون 568 .
 مانويل غارسيا 604 .
 ماندشو 673 .
 ماير ايمار 72 / 293 / 371 .
 مايكل انجلو 473 / 603 .
 مايور 579 / 602 .
 مايروف 565 .
 مايه 512 .
 متشيكوف 406 / 407 / 417 .
 متميكل سوسيتي 18 .
 محمد علي 655 / 660 .

موريشيون 380 .	مدريد 363 / 398 / 523 / 610 / 635 .
موريز واغر 420 .	مراكش 660 / 656 .
مورتر شيف 480 / 484 .	مورسلين بئرثيلوت 454 / 455 / 458 / 466 /
مورافيا 558 .	476 / 483 / 587 / 610 .
موسوتي 207 / 225 / 239 .	مرسيليا 421 .
موسندر 353 .	مركل 597 .
موسكو 402 / 403 / 481 / 484 / 637 / 638 /	مسكارت 194 / 195 / 258 .
639 .	مسنت 606 .
موسي 447 .	المسيح 663 .
موسل 465 .	مصر 587 / 592 / 655 / 656 / 660 .
موسو 478 / 480 / 597 .	مكة 660 .
موسيه 567 .	المكسيك 381 / 439 .
موسفراف كلي 600 .	مكسيكو 363 / 385 .
موشتر 143 .	مليورن 402 / 442 .
موغج 345 .	ملدي 200 / 203 .
موليان 28 .	ملفيل 171 .
مولدنهاور 294 / 427 .	ملكيور نوماير 386 .
مولر 403 .	ملينكوف 416 .
موليار 459 / 466 .	مندن 48 / 54 .
موليش 460 .	مندبلييف 12 / 172 / 263 / 271 / 314 / 315 .
مولدر فانت هوف 633 .	منكوسكي 603 .
مونت مارتر 178 / 367 / 509 / 510 .	موافر 90 / 91 .
مونتكري 201 .	موانيو 70 .
مونك روزنشول 248 / 479 / 485 .	مويرنويس 14 .
مونتي 268 .	مويوس 419 / 529 .
مونييليه 311 / 564 / 575 / 583 .	موتسوهيتو 677 .
موني شلماس 371 .	موتمان 353 .
مونه 410 .	موتون 169 .
مونيز 417 .	موراي 66 / 153 / 267 / 357 / 421 .
موناكو 421 / 422 .	مورلي 128 / 180 / 195 / 259 .
مونتر 459 .	مورس 140 / 230 .
مونتييه 475 .	موريس لوجان 376 / 453 / 475 .
مونسكيو 512 .	مورفان 379 .

مونچي 565 .	ميناس جيرامس 384 .
مونتيلاوس 569 .	مينوت 400 / 678 .
مونيرت 603 / 607 .	مين 586 .
مونتيرو 666 .	ميونخ 128 / 170 / 530 / 604 / 609 / 629 .
موهص 362 .	مير 604 .
موهل 427 / 457 / 469 .	م . آ . ابولار 661 .
مويريدج 174 .	م . باش 43 / 44 .
ميتا 326 .	م . ج . بركلي 435 .
ميتاج ليفار 57 .	م . بوام 666 .
ميدون 161 .	م . بيرى 44 .
ميدين 598 .	م . تروب 442 .
ميروندول 13 .	م . آ . تونيلات 115 / 179 / 246 .
ميري 76 .	م . دوموازو 158 .
ميرستين 171 .	م . دوامس 322 .
ميربال 394 / 441 / 541 .	م . دي ريفيرو 384 .
ميربكس 496 .	م . رينود 588 / 599 .
ميرنغ 603 .	م . سارس 421 .
ميشال شال 34 / 35 / 36 / 38 / 48 / 673 .	م . سباسكي 177 .
ميشال فراداي 119 / 120 / 166 / 189 / 191 / 192 / 206 / 207 / 212 / 215 / 217 / 220 / 221 / 223 / 224 / 225 / 226 / 227 / 228 / 229 / 231 / 233 / 237 / 238 / 239 / 242 / 250 / 251 / 253 / 254 / 259 / 262 / 271 / 324 / 329 / 625	م . سويت 468 .
ميشال ليفي 360 / 608 .	م . سويس 387 .
ميشلي 545 .	م . شال 206 .
ميكلسون 128 / 180 / 194 / 195 / 259 .	م . غراهام 318 .
ميكو ليكو 275 .	م . فرنل 47 / 119 / 214 / 217 .
ميلانو 154 .	م . ل . فرنكهيم 349 / 352 .
ميللر 352 .	م . فوستر 480 .
ميلوني 138 .	م . فون بتكوفر 609 .
ميناردي 55 .	م . كلابروت 351 / 352 / 353 .
	م . كويري 322 / 323 / 585 .
	م . كوليري 458 / 576 / 597 .
	م . كونفش 318 .
	م . كيکولي 323 / 325 / 326 .
	م . لوجون 633 .
	م . ف . لومونسوف 637 / 638 .

- م . لویر 599 .
 م . ف . موري 422 .
 م . ميلوني 169 .
 م . نوذر 51 / 52 .
 م . س . ورنين 466 / 547 .
 - ن -
 نابليون بوناپرت 38 / 628 / 629 / 630 / 632 .
 نابولي 93 / 169 / 421 .
 ناييه 674 .
 ناير 262 / 271 .
 ناتيفل 607 .
 ناورست 369 .
 نار 267 .
 ناس 579 .
 نافير 30 .
 نافيه 109 / 111 / 113 / 121 / 122 .
 نافاشين 544 .
 نامور 567 .
 نانسې 77 / 484 .
 نېفو 416 .
 نتر 601 / 607 .
 نثايل بوديش 649 .
 نرنست 253 / 262 .
 النروج 23 / 48 / 370 / 380 / 634 .
 نفوين ترايې 667 .
 نفولا تسلا 249 / 635 .
 النمسا 60 / 262 / 360 / 380 / 386 / 411 .
 440 / 577 / 578 / 582 / 596 / 597 .
 634 .
 نويسل 195 .
 نوبيلي 480 .
 نوتال 415 .
 نوډين 554 / 558 .
 نورثمور 271 .
 النورماندي 379 / 442 .
 نورثيرلاند 646 .
 نوکار 593 .
 نوله 253 .
 نولتون 418 .
 نومير 599 .
 نونين 595 / 603 .
 نويل برنار 547 .
 نيس دي سان فيكتور 174 .
 نير 658 .
 نيشه 16 .
 نير 604 .
 نيدهام 542 .
 نيسفورنيس 174 .
 نيست 369 .
 نيس فون ايزنيك 542 .
 نيکولا 357 .
 نيکولا فون لوتنبرگ 363 .
 نيکولا لوباشفسکي 14 / 19 / 39 / 41 / 639 .
 نيکولا واغنر 531 .
 نيکلسون 210 / 267 / 409 / 530 .
 نيلاتون 607 .
 نيلس هنريک آيل 19 / 22 / 23 / 31 / 64 / 67 / 633 .
 نيوتن 12 / 14 / 24 / 52 / 93 / 119 / 132 / 136 / 147 / 148 / 156 / 168 / 169 / 182 / 184 / 185 / 190 / 213201 / 215 / 228 / 232 / 265 / 298 / 299 / 345 / 473 .
 493 .
 نيوشاتل 571 .
 نيوکمب 49 .

- نيولاند 314 .
نيومان ماك كولايغ 245 .
نيوماير 371 .
نيوهافن 154 .
نيويورك 363 / 402 / 587 / 605 .
ن . ي . اوزيريتسكوفسكي 638 .
ن . باتويار 435 / 436 .
ن . ل . برينتون 442 .
ن . ي . بيروغوف 590 .
ن . ا . جوفسكي 641 .
ن . م . ريجنيلاسكي 439 .
ن . غامالي 451 .
ن . لوكير 160 .
ن . نوبي 464 .
ن . واليش 439 .
- هاتشت 353 .
هاتشاك 405 .
هاجن 247 .
هادلي 132 .
هافارد 148 / 650 .
هارنز 362 / 380 / 383 / 498 / 594 .
هارفي 497 .
هاري مارشال ورد 546 .
هاردې 568 .
هاسنفرانز 305 .
هاسيت 45 / 47 / 53 / 61 .
هاك 415 .
هال 19 / 78 / 629 .
هالستروم 198 / 201 / 262 / 264 .
هانز 407 / 477 / 534 .
هانس 460 / 512 .
هالستد 591 / 592 .
- هالفورت 587 .
هاليو 591 .
هالويو 595 .
هاملتن 23 / 24 / 25 / 28 / 29 / 48 / 66 / 72 / 107 / 108 / 118 / 214 .
هامبولت 356 / 359 .
هامان 415 .
هامي 568 .
هانس برجر 609 .
هانس فراتز 454 .
هانس كريسيان ارستد 119 / 166 / 211 / 212 / 213 / 236 / 263 / 271 / 281 / 304 .
هانوفر 400 .
هانوت 595 / 603 .
هانيكو 672 .
هاوي 338 / 340 / 341 / 345 / 346 / 347 / 348 / 349 / 350 / 355 / 356 / 362 .
هايد 658 .
هايكل 477 / 503 / 535 / 536 / 537 .
هايم 599 / 607 .
هيرا 584 / 604 .
هتشكوك 517 .
هلوينغ 542 / 543 .
هريست 415 .
هرتل 597 .
هرليزكا 538 .
هرميت 24 / 27 / 69 / 73 / 75 / 77 / 80 / 82 / 86 .
هرمن كرونر 386 .
هرمان برغوس 263 / 265 / 323 / 381 / 384 / 385 .
هرمان شليجل 411 .
هرمان فون فهلينغ 595 .

هتاريا 380 / 634 / 656 .	هرناندز 582 .
هتكي 586 .	هنريش كونيكي 596 .
هوارد 360 .	هس 25 / 26 / 47 / 275 / 400 / 417 / 536 .
هوارس ولز 581 .	هفنز 168 .
هوانغ كوان 673 .	هلمريغل 466 .
هوب 584 / 583 / 264 .	هلفس 37 / 48 / 52 / 76 .
هويكتر 268 .	الهمالايا 515 .
هويرت 417 / 454 / 505 .	همبرون 420 .
هوتون 335 / 356 / 358 / 367 / 600 .	همبورغ 403 / 604 .
هوتشسون 597 .	همفري دافي 165 / 210 / 211 / 214 / 215 /
هوندور 358 .	219 / 220 / 223 / 227 / 267 / 285 /
هودسون 419 / 583 .	303 / 304 / 317 / 329 / 385 / 625 /
هورت 359 .	630 / 631 .
هورسلي 478 / 480 / 601 .	هتر 517 .
هوسمان 602 .	هتلسرس 145 .
هوغيرز 136 / 138 / 152 / 153 / 159 / 172 /	الهند 333 / 380 / 438 / 622 / 661 / 664 .
173 .	الهند الصينية 592 / 663 .
هوغيرولمن 403 .	هنريك انطوان لورنتز 29 / 119 / 120 / 128 /
هوغيردي فري 397 / 460 / 562 .	166 / 191 / 192 / 193 / 194 / 19 / 196 /
هوفمان 327 .	241 / 247 / 256 / 257 / 2001 / 259 / 260 .
هوفمستر 396 / 427 / 428 / 429 / 430 / 437 /	هنريك هيرتز 119 / 120 / 125 / 166 / 170 /
518 .	190 / 193 / 232 / 237 / 240 / 241 /
هوك 132 / 185 / 194 / 531 .	242 / 243 / 244 / 245 / 246 / 247 /
هوكسي 122 / 253 .	248 / 249 / 254 / 255 / 258 / 259 .
هوكر 438 .	هنري بوانكاريه 11 / 15 / 41 / 42 / 43 / 50 /
هوكرا 606 .	51 / 56 / 57 / 60 / 69 / 71 / 74 / 75 /
هولبورن ووين 263 .	77 / 83 / 96 / 101 / 120 / 125 / 126 /
هوليونارك ناش 302 .	127 / 128 / 129 / 158 / 159 / 189 /
هولندا 569 / 572 .	230 / 241 / 244 / 259 / 274 .
هولزكيت 596 .	هنري آ . رولاند 136 / 172 / 242 / 647 .
هومول 586 .	هنري سانت كليرو دوفيل 353 / 358 .
هونغ جن كان 676 .	هنري ليبف 63 / 76 / 80 .
هونغ سيوتسيوان 676 .	هنس 397 / 419 / 422 / 429 / 543 / 542 /
	545 / 593 .

- هونگ كونگ 671 / 672 / 673 / 676 .
هويجن 112 / 118 / 119 / 177 / 182 / 184 /
185 / 199 / 345 / 349 .
هيات 383 / 409 .
هيتورف 250 / 254 .
هيتزيغ 479 / 483 .
هيدنجر 348 .
هيدنهن 597 .
هيدر 607 .
هيرن 266 / 267 / 275 / 379 .
هيراس 543 .
هيرولت 564 .
هيزسينور 597 / 598 .
هيسوس 202 .
هيسنجر 303 .
هيفل 13 / 155 / 404 / 412 / 418 .
هيفنز 303 .
هيفوفون موهل 395 / 396 / 428 / 461 / 467 .
هيفسايد 29 / 256 .
هيلد ليرغ 135 / 171 / 478 / 590 / 629 .
هيلبرين 424 .
هين 598 .
هيل لودويغ 597 .
هينوك 606 .
هيول 341 .
هيولفس جاكسون 600 .
هيوبي 666 / 668 .
هولبرس 155 .
هولبندر 535 .
هولبايون 434 .
هولج 408 .
هولر 54 .
هولتوني 438 .
هول 335 / 269 .
هولاند 161 .
هولر 538 .
هولر 633 .
هولر 518 .
هولر 379 / 386 .
هولر 530 .
هولر 421 / 535 .
هولر 585 / 605 .
هولر 153 .
هولر 25 .
هولر 430 .
هولر 52 / 82 .
هولر 410 .
هولر 37 .
هولر 169 .
هولر 411 .
هولر 28 / 29 / 32 / 43 /
44 / 49 / 55 / 56 / 228 / 341 .
هولر 384 .
هولر 566 .
هولر 176 .
هولر 176 .
هولر 593 .
هولر 417 / 429 .
هولر 519 .
هولر 281 .
هولر 169 / 173 / 175 / 178 / 179 /
187 / 190 / 194 / 258 / 259 .
هولر 262 .
هولر 678 .
هولر 441 .
هولر 150 .

هـ . كوشن 481 .	وایسن 196 .
هـ . لیکوک 440 .	وایلد 222 .
هـ . مورتسن 411 .	وایلی 674 .
هـ . ن . موسلی 422 .	وتی 359 .
هـ . مولر 400 .	ودس هول 421 .
هـ . مولیش 468 .	ودغود 169 .
هـ . میلن 409 / 421 / 554 .	ورتیم 202 / 203 / 591 .
هـ . هارفي 440 / 436 .	ورتز 308 / 323 / 327 .
هـ . هلمولتز 42 / 43 / 49 / 55 / 60 / 111 / 117 / 118 / 127 / 162 / 173 / 182 / 191 / 198 / 199 / 200 / 201 / 203 / 242 / 236 / 235 / 232 / 231 / 228 / 247 / 251 / 252 / 262 / 279 / 280 / 477 / 478 / 483 / 484 / 630 .	ورزبورغ 588 .
	ورسا 569 .
	ورنر سمیس 222 .
	ورنر کوفیه 354 / 356 / 358 / 366 / 367 / 369 / 370 / 373 / 374 / 381 / 384 / 393 / 399 / 403 / 404 / 405 / 409 / 473 / 490 / 645 .
هـ . هنکل 29 / 32 / 75 .	وشموت 267 .
هـ . ا . هین 76 .	الولايات المتحدة 9 / 24 / 132 / 175 / 360 / 363 / 381 / 402 / 411 / 475 / 478 / 519 / 584 / 587 / 621 / 630 / 633 / 635 / 643 / 644 / 645 / 646 / 647 / 648 / 649 / 650 / 651 / 673 / 675 .
هـ . ب . ورد 415 .	
هـ . ولز 473 .	
هـ . س . ویامس 372 .	
هـ . وینر 36 .	
- § -	
وات 269 .	ولان اونغ 667 / 668 .
واتسون 253 .	ولتر بلمنخ 395 / 397 .
واجن 371 / 409 .	ولترنست 252 .
وارین 66 .	ولدون 94 / 98 .
وارن دي لارو 138 / 139 .	ولدير 604 .
واسمان 420 .	ولر 597 / 598 / 599 .
واشنطن 363 / 402 / 404 / 644 / 646 / 658 .	ولش 599 .
والاس 38 / 419 / 430 / 438 / 555 / 582 .	ولف 535 .
والکوت 373 .	ولفیر 591 .
وانغارتن 54 .	ولکي 265 .
وايز انشتاین 26 .	ولهلمی 327 / 328 .
	ولهلم استولد 252 / 294 .

- ولہلم رو 400 / 537 / 538 .
ولہلم فیبر 200 / 202 / 230 / 231 / 232 /
235 / 238 / 242 / 249 .
ولہلم ولدایر 398 .
ولہلم وین 199 / 262 / 290 / 291 / 292 .
ولہلمس 596 .
ولہلمسون 321 / 322 / 370 / 430 / 438 .
ولیم اوسلر 598 .
ولیم یارسون 134 .
ولیم بارلو 344 .
ولیم پروت 313 .
ولیم جیمس 14 .
ولیم دامیہ 665 .
ولیم سمیث 335 / 367 / 379 / 630 .
ولیم طومسون 30 / 51 / 60 / 74 / 108 / 117 /
122 / 166 / 200 / 207 / 225 / 232 /
233 / 234 / 235 / 236 / 237 / 238 /
262 / 268 / 276 / 283 / 284 / 409 .
ولیم غرانٹ بوند 132 / 138 / 650 .
ولیم فرغسون 590 .
ولیم کروکس 172 / 254 / 255 .
ولیم لوغان 372 / 380 / 381 .
ولیم ماکلور 381 .
ولیم موریس دوفیس 377 .
ولیم نیلندر 437 .
ولیم ہرشل 133 / 138 / 146 / 147 / 148 /
149 / 150 / 154 / 162 / 169 / 170 / 288 /
630 .
ولیم ہنری 298 / 301 .
ولیم ہوکر 433 / 442 .
وینزل 84 / 301 / 304 / 310 / 327 .
وندت 478 .
وندرلیش 589 .
وئع ہون 673 .
وئکلمان 267 .
وود 196 .
ووسی 674 / 675 .
ویر 585 / 600 .
ویت 480 .
ویتام 357 .
ویتمان 52 / 419 .
ویتیرخت 122 .
ویلمن 262 / 266 / 287 .
ویرویوف 352 .
ویس 339 / 340 / 341 .
ویسل 65 / 66 .
ویسمان 423 / 531 .
ویست بونیت 606 / 650 .
ویشلوم 606 .
ویٹیل طومسون 422 .
ویفیریش 85 .
ویل 606 .
ویلان 584 / 604 .
ویلز 379 / 420 / 584 .
ویلسون 538 .
ویلہارت 466 .
ویلکیس 140 .
ویلموسن 422 .
ویلی 408 .
وینامو 222 .
وینسلو 540 .
و . اینوس 638 .
و . باتیسون 562 .
و . برکین 400 .
و . بریفلد 545 / 547 .
و . بوتجر 410 .

- و . هیتورف 172 .
و . هـ . ولامتون 135 / 185 / 236 / 302 /
303 / 340 / 345 / 350 / 353 .
و . ویستون 170 / 171 / 178 / 248 .
- ای -
- الیابان 421 / 622 / 630 / 667 / 671 / 677 /
678 .
یاریل 408 .
یال 648 / 650 / 673 .
یانفستی 672 / 674 / 676 .
یلو 677 .
یرسین 592 .
یفیل طومسون 421 .
الیمن 656 .
ینا 629 .
یوتشانغ 668 .
یوتفوس 634 .
الیونان 380 / 567 / 635 .
یویغ 122 / 630 / 631 / 676 .
یوهوشووان 672 .
ی . ب . بافلوف 640 .
ی . برتولین 177 .
ی . بن 676 .
ی . بودیه 435 .
ی . بوف 465 .
ی . بیریه 421 .
ی . بیکار 52 / 192 / 195 .
ی . جلغ 434 .
ی . داروین 116 .
ی . دیلاج 417 / 421 .
ی . ستراسبورجر 429 .
ی . ستشینوف 640 .
- و . بوتشلی 413 .
و . ج . بریشل 439 .
و . بوکلاند 367 / 369 .
و . بومونت 481 / 484 .
و . بونی 54 / 63 .
و . جوهنسن 558 .
و . جیز 255 .
و . س . جیفونس 32 .
و . س . جیفول 580 .
و . و . جین 676 .
و . درود 441 .
و . رودریک 53 .
و . روکسبورف 439 .
و . سارس 407 .
و . سوان 410 .
و . شاری 480 .
و . شولتز 538 .
و . فار 419 / 587 .
و . فالانتین 543 .
و . فوات 198 .
و . فون همبولد 629 .
و . فیلیس 340 .
و . ک . کلیفورد 25 / 28 / 41 / 51 / 55 .
و . کیلیان 379 / 385 .
و . لاسیل 134 .
و . لینییه 430 / 438 .
و . ش . مارش 412 / 524 / 525 .
و . ت . ج . مورتون 581 .
و . هـ . میلر 341 .
و . نیکول 177 .
و . ر . هاملتن 27 / 108 / 158 .
و . هربرت 558 .
و . هرتوین 535 / 538 / 544 .

- ي . ج . ستودل 443 .
 ي . سملويس 634 .
 ي . غلي 484 .
 ي . فان بيندين 536 .
 ي . فريز 435 .
 ي . فلوريان 661 .
 ي . فوريس 421 / 424 .
 ي . فون شلويهم 408 .
 ي . فيليب 112 .
 ي . د . كوب 410 .
 ي . ي . ليكين 638 .
 ي . ماير 395 .
 ي . مك كلنتوك 24 .
 ي . ف . ميتشورين 640 .
 ي . ورنغ 24 / 85 .
 ي . ولف 464 .
 ي . ه . ويسر 24 / 47 / 84 / 159 / 166 /
 190' / 191 / 198 / 198 / 227 .

فهرست الرسوم

الرقعة	الرقعة
179	1 - مخطط قياس سرعات الضوء من قبل فيزو
182	2 - تجربة يونغ
183	3 - الانعكاس في حجر سبات ايسلندا
184	4 - مرايا فرنل
186	5 - قياس سرعة الضوء في تيار مائي من قبل فيزو
196	6 - تجربة ميكلسون
222	7 - رسمة الجهاز الذي استعمله فراداي عند اكتشافه للحث
310	8 - مخطط يبين تشكل جزئين من اسيد كلوريدريك بحسب غودين
310	9 - تشكل جزئين من الماء
315	10 - تجربة نظام عناصر ورقة وزعها مندليف على الفيزيائيين والكيميائيين الروس
326	11 - مسدس كيكولي
326	12 - شكلان متساويان للبانزين بحسب كيكولي
339	13 - نواة معينة الشكل للكلس مكربن داخل أحمية
339	14 - مثل عن التنازالات في نظرية هاوي
342	15 - الشبكة البلورية كما رسمها ديلافوس
376	16 - مقطع عام لبروفنة غرب طولون - ثنية بوست
567	17 - انسان النياندرتال - جمجمة لاشابيل - او - سان
568	18 - انسان كرومانيون
570	19 - مقايض يد شيلية - العصر الحجري الأسفل
570	20 - ادوات من العصر الحجري القديم الأعلى

فهرس المحتويات

الصفحة	الموضوع
7	المقدمة
11	عبقرية القرن التاسع عشر
	عصر العجائب والمفارقات - سيادة الميكانيك وسيادة الكمية - ذهل الفلاسمة - أسبقية التجربة على الاستنتاج - نهاية سيادة الحس العام السليم - الإنسان ابن الحيوان - الإنسان سيد الحياة
	القسم الأول : الرياضيات
21	الفصل الأول : الجبر والمهندسة (الجيومترى)
21	I - تمجد الجبر
21	1 - نظرية المعادلات ونظرية الزمر
	القاعدة الأساسية - المعادلات من الدرجة الأعلى من أربعة - غالوا ونظرية الزمر - تقدم نظرية الزمر - طرق الحل المتقارب في المعادلات
25	2 - بدايات الجبر المستقيم أو الخطي - أنواع الجبر
	نظرية المحددات - المصفوفات والحساب المصفوفي
	الرباعيات والأعداد الفارقة التعقيد - أنواع الجبر
	3 - المتوجهات والنواثر
28	بدايات الحساب الاتجاهي - نهضة التحليل الاتجاهي - بدايات الحساب الوتيري
30	4 - الأعمال الأولى في المنطق الرياضي
33	II - الجيومترىات
33	1 - نهضة الجيومترى التآليلية
	تمجد الجيومترى الخالصة - بونسلي وإعادة اكتشاف الجيومترى الاسقاطية - شتاير ، شال ، والعقيدة الاسقاطية - ستود وبهنة الجيومترى الاسقاطية - الجيومترى التعدادية - مسائل متنوعة
39	2 - الجيومترى غير الاقليدية ومسألة أسس الجيومترى
	غوس ولوباتشفسكي وبولي والمهندسة الغير بولية
	تدخل ريمان - انتشار الجيومترىات غير الاقليدية - الجيومترى ونظرية الزمر - أسس الجيومترى

- 44 3 - تجدد الجيومتريا التحليلية
المدرسة الفرنسية من مونتج الى بويليه - التوسعات في مفهوم الاحداثيات وعمل بوكور - درس
التحنيات والسطوح الجبرية - الجيومتريات ذات الابعاد الكثيرة
- 49 4 - اصول الجيومتريا الجبرية
تدخل نظرية الدالات - التحولات الزدوجة الجلفور - بدايات الجيومترية الجبرية
- 53 5 - الجيومتريا اللامتناهية الصغر والتفاضلية
مدرسة مونتج - عمل غوس وامتداداته - ريمان والجيومتريا التفاضلية - التطورات اللاحقة
- 57 6 - ظهور الطوبولوجيا
- 59 **الفصل الثاني : التحليل الرياضي ونظرية الاعداد**
- 59 I - تطور الفيزياء الرياضية
- 61 II - تجدد التحليل الرياضي
الاعمال الاولى التي قام بها كوشي في مجال التحليل - مفاهيم الدالة ومفاهيم الاستمرارية - المتكاملات
المحددة - السلاسل - السلاسل الكاملة - العدد المركب - وظائف أو توابع المتغير المعقد - الوظائف
الاھليجية - الوظيفة القياسية ، الوظائف الأيضية - وظيفة غاما - قواعد الوجود بالنسبة الى المعادلات
التفاضلية - طرق تكامل المعادلات التفاضلية أو ذات المشتقات الجزئية
- 72 III - التقدم اللاحق في التحليل
منهجية مفاهيم كوشي - نظرية الوظائف عند ريمان - بدايات التولوجيا - نظرية الوظائف وفقاً
لويرستراس - حسيبة الرياضيات - هنري بوانكاريه
- 77 IV - نظرية المجموعات
جورج كانتور - الاعداد العادية الكثيرة الغنى
- 80 V - نظرية الاعداد
ليجنند - غوس - التطابق أو الموافقة - الاعداد الخيالية عند غالوا - الاشكال الرباعية - قاعدة هيرمات
الكبرى - التوزيع المترافق للاعداد الاولى
- 87 **الفصل الثالث : الاحتمالات والاحصاءات**
مفهوم الترابط - الحركة المتدلية - دور كيتلي - قانون الاعداد الكبرى - لابلاس ونظرية الاخطاء -
التلاثي العرضي - رياضات الفرضيات الاحصائية - منطق الاحتمال - الميكانيك الستاتيكي والنظرية
الحرورية في المادة - الكائنات الاحتمالية العامة

القسم الثاني : الميكانيك وعلم الفلك.

- 105 **الفصل الأول : خدوة الميكانيك الكلاسيكي والشكوك حوله**
- 105 I - تطور الميكانيك التحليلي
مبدأ الميكانيك التحليلي - تعميم لابلاس - الترابط والأعمال التصورية ، فوربيه وغوس - الصياغة :
بواسون ، هاملتون ، جاكوبي
- 108 II - ميكانيك الأماكن المستمرة
المعطيات السابقة - الاستمدادات الضرورية : كوشي ونافيه - المهدوديناميك - انتشار الحركات

112	III - الحركة النسبية وفكرة نظام الارتداد وجود ثغرة - كوربوليس وتغير نقطة الرجوع أو الارتكاز - أحداث تجريبية جديدة : رينغ وفوكولت - الجبروسكوب - الدرس من الاكتشافات
115	IV - النظريات الكبرى في الفيزياء والميكانيك الترموديناميك - علم البصريات - الكهرباء والمغناطيسية
120	V - الميكانيك الفيزيائي والنقاش حول طريقة الميكانيك الكلاسيكي يوسون والميكانيك الفيزيائي - مثل مميز : نظرية الشمريرات - الصعوبات الأساسية - الفيزياء والنماذج الميكانيكية
123	VI - مناقشة مبادئ الميكانيك الكلاسيكي ظهور تيار انتقادي - أرنست ماش - ميكانيك هرتز - طروحات بوانكاريه - بيار دوهميم
128	VII - توقع ميكانيك جديد
131	الفصل الثاني : استكشاف الكون الكواكبي
132	I - المعدات الكبرى التلسكوبات الأولى - هرشل - التلسكوبات الحديثة - النظارات
135	II - التقنيات الجديدة التحليل الطيفي - الفوتومتريا - قياس الإشعاع الحراري - الفوتوغرافيا - تقدم التقنيات الكلاسيكية
140	III - أورتوميريا أو فن وصف السماء كاتالوغات أساسية : مبادرة الاعتدالين - الحارطات والكاتالوغات - مشروع خارطة السماء - القشرة الأرضية لم تعد قاسية
144	IV - البنية السماوية لعالم الكواكب مشاكل المسافات - حركة الشمس - الأنظمة النجمية - البنية الفضائية للسديم
150	V - المعلومات الأولى حول الفيزياء
150	1 - اللمعان الظاهر الأبعاد أو الضخامة - السلالم الفوتومترية - المقادير الضوئية - الكواكب المتغيرة
152	2 - برقية رقمية : الطيف
153	VI - الحركات والجاذبية السيارات الجديدة - اكتشاف نبتون - علم الفلك واللامرئي - للميكانيك السماوي
159	VII - الدراسات الفيزيائية في النظام الشمسي الكوكب الشاهد : الشمس.

القسم الثالث : العلوم الفيزيائية

167	لفصل الأول : تقدم علم البصريات الآلاتي
167	I - الفوتومتريا
168	II - التحليل الطيفي مشا المطيانية - الانتشارات الأولى للطيف ، بدايات المطيانية - التحليل الطيفي - العياغات الطيفية الأولى - أثر دولير ، فيزو

الصفحة

الموضوع

173	III - أدوات البصريات
177	الديابات والتطبيقات الأولى للفوتوغرافية - تحسين الشبقيات الفوتوغرافية - الميكروسكوب
177	IV - التكيف والتشيت
178	ظواهر التكيف - الخصائص البصرية للمعادن
178	V - سرعة الضوء
	الغاز
181	الفصل الثاني : تطور نظريات الضوء
	تقدم علم البصريات الفيزيائية في القرن 19 - علم البصريات التوجيهية عند فرنل - الأثير عند فرنل -
	المتنويات الكهربائية والأثير - الحقل الكهرسائي والتكهرب - جاسس مكسويل - النظرية
	الكهروديناميكية في الضوء - العلاقة بين الحقل أو المجال ومصادره - من الأثير الميكانيكي عند فرنل
	إلى أثير لورنتز - الأثير غير القابل للرصد والأساسي - المفاعيل من الدرجة الأولى - المفاعيل من الدرجة
	الثانية
197	الفصل الثالث : السمعيات
197	I - السمعيات النظرية
	تحليل الأصوات - التداخلات والتداخلات - الحفقات والمواقف - الانتشار والموجات - الحالات
	الذبذباتية للأجسام
199	II - السمعيات التجريبية
	تحليل الأصوات - التداخلات - الانتشار والموجات - الأجسام المرجحة - آلات جديدة
205	الفصل الرابع : الكهرباء والمغناطيسية
205	I - ولادة نظرية الزخم الكامن
	الجهود النيوتني - عمل يواسون - غرين وغوس - نظرية المتنوية الكهربائية
207	II - اختراع البطارية الكهربائية
	تجارب غالفاي - تدخل فولتا - أول بطارية كهربائية - الظواهر الإلكترونية
211	III - اكتشاف الكهرمغناطيسية
	تجربة أروستيد ومصادرها - الدراسات الكمية الأولى
213	IV - عمل أمبير
	نظرية التيارات الجسيمية - تركية 1827 - الاكتشاف المقنع أو الفائق - فرضيات - التطبيقات الأولى
217	V - قانون أوهم
220	VI - عمل فراداي
	الدورانات الكهروديناميكية - الحث - الألكتروليز - المازلات الكهربية - التكيف الدائري
	المغناطيسي - الخصائص المغناطيسية للمادة
228	VII - خلفاء أمبير
	المعادل الميكانيكية للحرارة وقانون جول - قانون جراسمان - نيومان - فير - فكرة الزخم المتأخر -
	مقاومة أفكار مكسويل
232	VIII - كيرشهوف ووليم تومسون

235	كيرشوف والكهرباء المتحركة - أهمية وتنوع أعمال تومسون
237	IX - النظريات الميكانيكية X - مكسويل ونظرية الحقول الكهرومغناطيسية الرسم الأول لنظرية رياضية حول الحقل الكهرومغناطيسي - نظرية الزوايح الجزئية وتطبيقاتها - الشكل النهائي لنظرية مكسويل - ضغط الإشعاع
241	XI - التثبيت التجريبي وتطور نظرية مكسويل الانكسار الكهربائي المزوج ومفعول رولاند - الأعمال الأولى التي قام بها هرتز - اكتشاف ودراسة التأرجحات الكهربائية السريعة - انتشار الموجات الكهرومغناطيسية - المفعول الكهرصوتي - نظرية هرتز - مسألة جبر الأثير - تشتت الضوء والانعكاس المعدني - اختراع التلغراف بدون خط (T.S.F)
250	XII - الأيونات في المحاليل السائلة وفي الغازات - تطور الأفكار حول ماهية الكهرباء تاويل مظاهرات المحاليل السائلة - ادخال الذرية في الكهرباء - التقدم اللاحق في نظرية الالكترونات - البطاريات القابلة للقلب - التفريغات الكهربائية في الغازات النادرة والأشعة الكاثودية
255	XIII - بدايات نظرية الالكترونات تومسون وبدايات الديناميك الالكتروني - عمل لورنتز ونظرية الالكترونات - نجاح نظرية لورنتز وحدود صلاحيتها
261	الفصل الخامس : الدراسة التجريبية للظواهر الحرارية
262	I - الترمومتري (قياس الحرارة) الترموستات السائل - البيرومتر - المزوج الحراري ، الكهربائي
263	II - دراسة التمدد تمدد الجوامد - تمدد السوائل
265	III - الكالوريمتري طريقة التبريد - الحرارة الخاصة في الغازات ذات الضغط الثابت - الحرارة النوعية ذات الحجم الثابت
266	IV - القابلية للتوصيل الحراري قابلية الجوامد - توصيلية السوائل - توصيلية الغازات
267	V - تعادل الطاقة الميكانيكية والحرارة
268	VI - تغير الأحوال الذوبان والتجمد - تأثير الضغط على نقطة الذوبان - الدراسة التجريبية لنظام السائل - البخار - الحليان - الميغرومتر - درجة الحرارة الاشكالية والحالة الاشكالية - بعض التطبيقات
273	الفصل السادس : ولادة وتطور علم الترموديناميك
273	I - حفظ الطاقة ما عمله كارنوت - المعادل الميكانيكي لوحدة الحرارة - الترموكيمياء
275	II - مبدأ كارنوت دورة كارنوت - السلم المطلق لدرجات الحرارة - القصور الحراري - الطاقة الحرة - الانتالپيا - مبدأ نرنست
280	III - الحرارة الذاتية
281	IV - الغازات الحقيقية وتسييل الغازات

	معادلة فان در واول - الحالة الدقيقة أو الحالة الحرجة أو الحالة الانتقادية - قانون الحالات المطابقة - قوانين الانعكاس - قوانين واوولت
287	VI - التوصيل الحراري
287	VII - الطاقة الشمة
	قانون كيرشوف - المتلقي المتكامل أو الجسم الأسود - انعكاس الأشعة - قانون ستيفان - قانون وين - تطبيق مبدأ التوزيع المتبادل للطاقة
292	VIII - النظرية الحركية والميكانيك الاحصائي
297	الفصل السابع : طبيعة الكيمياء
297	I - ظهور نظرية الذرية الحديثة
298	1 - خصائص الغازات
	الحالات الغازية ونظرية نيوتن - ذوبانية الغازات - الأعداد المتناسقة مع الجزيئات - قانون العلاقات الحجمية الحرارية - فرضية أفوغادور وامبير
300	2 - الصراع حول النسب المحددة
	قوانين برتوليت - الجدول بين برتوليت وبروست
301	3 - الذرات ، والحلأيا ، والمعادلات
	دالتون - الفرضية الذرية - المكافئات
303	4 - الكهركيمياء
	عودة ظهور مبدأ كوني - القوى الكيميائية والكهربائية - مزيابوس
305	5 - الترتيب الرمزي
	ترقيم دالتون - الترتيب الحديث
308	II - الذرات أو المتساويات
	برزيابوس - دولون وبيني - ميتشليك والايومورفية - تفسير قانون أفوغادور - امبير - انقال الاخرة والأوزان الذرية - جيرهاتز واصلاح المتعادلات - التصنيف الدوري الذي وضعه مندليف - التأثير السيء لنظرية المتساويات المتأخرة
316	III - بنية المركبات العضوية
	مفهوم البنية - الثنائية الكهركيميائية - انتقاد الثنائية - ظاهرات الاستبدال - الانحاط بحساب جيرهارت - مفهوم التكافؤ - مفهوم الكربون اللاتناظري - بنية المركبات العطرية - التركيب في الكيمياء العضوية
327	IV - الكيمياء في علاقاتها مع العلوم القريبة
327	1 - الكيمياء والفيزياء
	الحركية الكيميائية - الكيمياء الحرارية والطاقوية - ظاهرات المساعدة - قوانين التحليل الكهربائي - الخصائص الفيزيائية للمحاليل - أرهنيوس وتغارق التحاليل الكهربائية
331	2 - الكيمياء وعلوم الحياة
332	3 - الكيمياء والطب
333	استنتاج
	القسم الرابع : علوم الأرض
337	الفصل الأول : العلوم المنجمية

338	I - علم التبلر الجيوميتري والبنية التبلرية المورفولوجيا البلورية (علم التشكل) - البنية البلورية - مجموعات البلورات أو الكدورات والأيونية البلورية المحفزة
345	II - الخصائص الفيزيائية لأشباه المعادن
345	1 - الخصائص البصرية للبلور الاستقطاب الدائري - تغير الخصائص الابصارية تحت تأثير الحرارة - استقطاب الاشعاعات أو ظاهرة اختلاف الألوان ، وتكون البلورات - الشذوذات الابصارية
348	2 - خصائص فيزيائية أخرى النقل النوعي الصلابة والتمدد - التوصيلان الحراري والكهربائي - الكهربائية الحرارية والضغطية - المغناطيسية وعكسها - التوهج الفوسفوري والتوهج الفلوري حث البلور وتوهج
350	III - الخصائص الكيميائية في أشباه المعادن ، البلوغرافية الكيميائية التشاكلية أو التماثل في الشكل - التشاكلية الثنائية والتشاكلية التعددية - التجانس التماثلية - التحليل الكيميائي لأشباه المعادن
354	IV - المستعمرات شبه المعدنية في الطبيعة : ولادتها وتحولاتها التصنيفات المنجعة فيما يتعلق بأشباه المعادن ثم مفهوم النوع شبه المعدني - التحولات الكاذبة - علم وصف الصخور - تحويلة الصخور
359	V - النيازك
359	VI - الطرق التجريبية
360	VII - المجموعات شبه المعدنية الكبيرة
365	الفصل الثاني : الجيولوجيا
366	I - تاريخ الأرض ووضع سلم طبقاتها نشأة التحويلة والنباح المؤقت لنظرية كوفيه - بدليات علم الاحالة الطبقة الأرضية - العصور والأنظمة - هضبة علم الاحالة : القشري أو الطبقاتي - الطبقات الجيولوجية والمناطق الاحالية - نحو سلم طبقي قشري دولي - مدة الأزمنة الجيولوجية
373	II - نظريات حول تشكل سلاسل الجبال نظرية فوهات التقيب - ايلي دي بومونت - النظرية الرباعية - نظرية الطبقات المائية الزاحلة - البراكين
377	III - الجيومورفولوجيا (علم تشكل الأرض) أشكال التربة - مصجمة علم تشكل الأرض
378	IV - الحفرة الجيولوجية خارطة فرنسا الجيولوجية - الحفرط في بلدان أوروبا - الحفرة الجيولوجية للعالم
381	V - الجيولوجيا في أميركا أميركا الشمالية - أميركا الجنوبية
384	VI - انتشار المعارف تعليم الجيولوجيا - الجمعيات الوطنية - الكتب
386	سطح الأرض أو وجهها

القسم الخامس : علوم الحياة

الكتاب الأول : النبات والوظائف

- 393 **الفصل الأول : النظرية الخلوية ، علم الخلايا وعلم الأنسجة**
بيشات رائد الميسنولوجيا (علم الأنسجة) - ولادة وتطور النظرية الخلوية - الانقسام الخلوي -
انتقسام الخلية الراقية بشكل غير مباشر
- 399 **الفصل الثاني : علم الحيوان (الزوولوجيا)**
399 **I - مناهج وتنظيم البحث**
الميكروسكوبيا والتقنيات المرتبطة بها - كيمياء الأنسجة - تقنيات متنوعة - اطر المجهود الجماعي
- 403 **II - تصورات جديدة حول علم الحيوان**
الصناعة والمنهجية - التخصص الزوولوجي
- 405 **III - الاحياء الحيواني**
جسد الحيوانات غير الفقرية - حيليات البطن وحيليات الظهر - علم الاحاثاة واللافقرات -
الزواحف - الطيور
- 412 **IV - علم المتعضيات (الوحدة الخلية)**
التناسل والدورات
- 414 **V - الطفيلية وعلم الطفيليات**
المظاهر المختلفة للطفيلية - الاكتشافات الرئيسية - المؤاكلة والتعاون
- 418 **VI - علم البيئة**
أثر العوامل الخارجية - التلون الدفاعي أو الخامي - السلوك - دراسة السكان - المشاركات والجماعات
- 420 **VII - دراسة الحيوانات البحرية والمستقيمة**
محطات زوولوجية ومختبرات بحرية - العلاقات - الحيوانات المائية وعلم البحيرات
- 424 **VIII - الجغرافيا الحيوانية**
- الفصل الثالث : علم النبات**
- 427 **I - المورفولوجيا العامة (علم التشكل الحيواني والنباتي)**
ترتيب الأوراق - نظرية الزهرة - بنية الأنسجة ونموها
- 430 **II - التصنيف الطبيعي . منهجية تصنيف نباتات الأرض**
430 **1 - اطر تصنيف المملكة النباتية وبصورة خاصة الفانيروغرام**
جوسيو وبداية القرن 19 - كاندول وبراون - استعراض الأنظمة - الجنيئة العامة لبنتام وهوكس -
الأنظمة الانسانية
- 436 **2 - منهجية الكريبتوغرام**
الفطريات - الأشنات - الحزاز أوجق الصخور - البريوفيت والبتيرويدفيت
- 439 **III - الاستكشاف وعلم الازهار**
أميركا - آسيا وإستراليا - افريقيا

441	IV - جغرافية النبات
443	V - المؤسسات والأجهزة الأساسية المتاحف والحدائق - الجمعيات النورية والمؤتمرات
445	الفصل الرابع : باستور وعلم الميكروبات الحياتية الاختلاف النضفي والحياة - التخمرات - التولد الذاتي - أمراض دودة الحرير - مساهمة سابق باهي - دور الميكروبات في الأمراض المعدية عند الحيوانات والانسان - الانجاز الطبي عند باستور - مرض الضم - كوليرا الدجاج - التلقيح الفحامي - الكلب
453	الفصل الخامس : علم وظائف الأعضاء في النباتات (الفيزيولوجيا النباتية)
453	I - مي سوسور وتغذية النباتات حالة المسألة في بداية القرن - منيج سوسور - النتائج الحاصلة
456	II - نظرية التنفس تنفس النباتات - التخمرات - الدياستاز أو الأنزيمات - التنفس اللاهوائي
459	III - دور تريفي مؤسس الفيزيولوجيا العامة
460	IV - بنية الماء الامتصاص - التحويل - التعرق - التعرق أو الرشح - المواد الذائبة : النفاذ ، التوزيع ، النسج الكامل - امتصاص وتحويل الغازات
463	V - التغذية المعدنية فون ليبخ - العناصر المعدنية
464	VI - التغذية الأزوتية بوسنغولت ووينغراسكي - اللانترنة أو نزع الترات - الأزوت الأمونياكي - العقد البكتيرية في الغطائيات والبقول وتثبيت الأزوت الحر
467	VII - التغذية الكربونية - التخليق الضوئي الكلوروفيل فون ساش - بحوث متنوعة
468	VIII - حركات النباتات - النمو
471	الفصل السادس : الفيزيولوجيا الحيوانية
471	I - الفيزيولوجيا في فرنسا الأعمال الأولى والتصورات الأولى - ماجندي - فلورانس - برنار - مدرسة برنار - ماري وشوفو
476	II - الفيزيولوجيا في ألمانيا مولر وتلاميذه - لودويغ ومدرسته - فلوجر وغولتز
479	III - المدارس الفنية في الحقبة الثانية الفيزيولوجيا في إيطاليا - بي بريطاني - بي روسيا - بي أميركا
482	IV - تقنيات الفيزيولوجيا ومشاكلها في القرن 19
	الكتاب الثاني : تكون الأشكال
489	الفصل الأول : التشريح المقارن للفقرات

الصفحة	الموضوع
489	I - كوفيه وتطور علم التشريع المقارن الطرحيون أو الرواد - التشريع المقارن عند كوفيه - معنى مبدأ الترابط - سلم الكائنات - نظرية التوازن
493	II - العمل التشريعي الذي قام به آتيان سانت هيلير العلاقات المتبادلة والترابط - المناظرة بين كوفيه وهيلير
497	III - تأثير فلسفة الطبيعة بدايات التشريع المقارن في ألمانيا - نظرية النموذج المثالي - فكرة التماثل
500	IV - ما قدمه علم الأجنة انتقاد النظرية الفقرية حول الجمجمة
502	V - التشريع المقارن ووجهة نظر التطور التشريع المقارن والتطور - التشريع المقارن والنسالة
507	الفصل الثاني : الاحالة والفقرات
507	I - كوفيه وولادة علم الاحالة في الفقرات علم الفقرات المتحجرة قبل كوفيه - الانجاز الاحائي الذي حققه كوفيه - أهمية الثدييات - مبدأ التماثل - جدول بالنتائج العامة للبحوث حول العظام المتحجرة - علم الاحالة ومسألة تحول الأنواع
515	II - العمل الاحائي الذي قام به هيلير
516	III - بدايات علم الاحالة في أميركا
518	VI - علم الاحالة بين كوفيه وداروين
519	V - احالة الثدييات بعد داروين في فرنسا : انتجازات غودري - في سويسرا : عمل روتشيلير - في ألمانيا : موسع زيتل - في انكلترا : هوكسلي - اسبانيا ، والبرتغال وإيطاليا - في روسيا : كوفالفسكي - إحالة الفقرات في أميركا الشمالية - إحالة الفقرات في أميركا الجنوبية
529	الفصل الثالث : مسائل الخلق الحيواني
529	I - تختلف أشكال التناسل الصفات الجنسية الثانوية - الجنس الضائع بين الذكورة والأنوثة - التخشت الأنثوي - التوالد المعدي - الانتساب اللائقي - تخلق النطف الكثيرة من بويضة واحدة
533	II - تطور علم النطف
533	1 - علم النطف الوصفي وعلم النطف المقارن الأمشاج - البويضة ونحوها - القانون التخلفي الاحيائي الأساسي الذي وضعه هاينكل
537	2 - علم الأجنة النسبي أو التجريبي
538	3 - علم البحث في نشوء الأجنة
540	علم المخ والوراثة
541	الفصل الرابع : الجنسية والتناسل عند النباتات آبي وإخصاب البتات ذات الزهر - الجنسية عند اللازهريات - هوفمستر وتناوب الانتسال - توريه وبرنغشم واكتشاف الإخصاب - الجنسية عند الفطور الطليقية

- 549 **الفصل الخامس : النظريات التفسيرية حول التطور**
- 549 **I - اللاماركية**
لامارك - التصور التطوري عند لامارك - انتقادات اللاماركية - اللاماركية الجديدة
- 552 **II - الداروينية**
داروين وعمله - اصل الأنواع - الاستقبال الذي لقيته الداروينية - الداروينية الجديدة - بعض التيارات المشتقة
- 557 **الفصل السادس : أصول علم الوراثة**
بدايات البيومتريا أو علم الاحصاء الاحيائي - التجارب حول التهجين - اعمال نودين - مندل وقوانين الوراثة - مفهوم النوع والتغير الاحيائي
- 563 **الفصل السابع : عصر ما قبل التاريخ العلمي**
التعرف على وجود الناس المتحجرين - التفتيات في المغاور - بوشير ومدرسة آيڤيل - عمل لارتيه - اكتشافات الأشخاص المتحجرين - اكتشاف بيتيكانتروب - علم الآثار السابق على التاريخ : المعصور الثلاثة - الحجري ، البرونزي ، الحديدي - تصنيف الصناعات الحجرية - تطور دراسات ما قبل التاريخ - عصر ما قبل التاريخ والجبرولوجيا - اكتشاف المحضورات والمكونات والمنحوتات السابقة على التاريخ
- الكتاب الثالث : العلوم الطبية**
- 575 **I - حفة البثاء**
- 575 1 - زعماء السرب أو الركب
كابانيس - بيشات - بيل - بايل - بيرت وطبابة الجلد - كورفيسار - شومل وعلم الأعراض - لاينك والتسمع - نظام روسي - ليتارد وبروتينو - لويس والمعدنية - أنداله وكورفيليه - برايت وأمراض الكلى - غريزول وغرافس وتأثيرهما
- 581 2 - تطور العلم الطبي
قياس الحرارة العيادي - الجراحة - التنبج العلم - اصابات عدوى الفلوس - الأمراض الزهرية - التلقيح والأمراض المعدية - علم الاعصاب - علم الطب النفسي - القلب والأوعية - الجهاز التنفسي - طب الأطفال - علم السرطان - طبابة الجلد - الكبد - طب العيون والأذن والأنف والحنجرة - علم القبالة - التشريح والفيزيولوجيا - الطب الشرعي - الطب الاجتماعي
- 587 **II - الحفنة التشريحية العيادية والبيولوجية**
- 587 1 - التيارات الموجعة والمظاهر الرئيسية
برنارد - فيرشو - فيلمن وتروسو - قياس الحرارة العيادي - الجراحة - التطهير في الجراحة - أفكار باستور والتطهير - التخدير والجراحة - التخدير الموضوعي - باستور والطب - علم الطفيليات - علم الأمراض العصبية وعمل شاركوت - بوئين وأمراض القلب - بوشلر وأمراض التنفذية
- 596 2 - أربعة مكتسبات علمية
الزائفة الدودية - الفحص عن طريق الزرع - البزل القطني - الفحص الراديولوجي
- 597 3 - انتشار العلوم الطبية
التشريح - علم الأنسجة - علم وظائف الأعضاء - علم الأمراض الداخلية - الجهاز الدموي - علم

أمراض الدم - علم أمراض الرئة - علم الاعصاب - الأمراض العقلية - أمراض التغذية - الجهاز الهضمي - الكبد - الغدد الصماء - علم البولة والكل - التخصصات - علم طب العيون - طب الجلد - طب السرطان - فن التجبير - الأمراض الوبائية وطب الأطفال - التسمم - الاستطب - الطب الشرعي - الصحة - الصراع ضد الأمراض الوبائية - الطب الاجتماعي

في فجر القرن العشرين

بيليوغرافيا عامة للاقسام الخمسة الأولى

القسم السادس : الحياة العلمية

الفصل الأول : ظروف التقدم العلمي في أوروبا الغربية

I - اطر الجهد المشترك

نحو سياسة للعلم - تأييد الرأي العام - أثر الجمعيات العلمية - التعاون الدولي

II - الوضع في مختلف الدول

فرنسا - ألمانيا - بريطانيا - إيطاليا - سويسرا - بلجيكا والبلدان المنخفضة - سكتدينايا - أوروبا الوسطى والدانوية - شبه الجزيرة الأيبيرية

مراجع الفصل الأول

الفصل الثاني : العلم والحياة في روسيا القرن 18 و19

القرن 18 - من بداية القرن 19 حتى ثورة 1917

مراجع الفصل الثاني

الفصل الثالث : الحياة العلمية في الولايات المتحدة في القرن 19

مشروع الجامعة المركزية - معهد كولومبيا - هبة سميثسن - المؤسسة الوطنية - مؤسسة سميتسونيان - جودة الموارد الطبيعية - نشأة الجمعية الأميركية - الإنجاز التقني في حرب الانفصال - إنشاء الأكاديمية الوطنية - إنجازات الرياضيين الأميركيين - تطور التعليم العلمي العالي

مراجع الفصل الثالث

الفصل الرابع : العلم في البلاد الاسلامية ابتداء من 1450 حتى القرن 18

I - الظروف العامة لنمو العلم

العلم العربي واسبابه - الحروب الصليبية - المغول - اللغة الناقلة للعلم في البلاد الاسلامية

II - نظرة حول التقدم الذي حققه علماء الاسلام

العلوم الحقة - العلوم الطبية والنباتية - المؤلفات المجمعة - الجغرافيا وعلوم البحار - حاجي خليفة وفهارسه - استنتاج

مراجع الفصل الرابع

الصفحة

الموضوع

- 663 الفصل الخامس : بدايات العلم في فيتنام
فيتنام مستعمرة صينية - فيتنام مملكة انطاكية تابعة للامبراطورية الصينية - الجغرافيا - الرياضيات -
الطب
- 669 مراجع الفصل الخامس
- 671 الفصل السادس : تقدم العلم الحديث في الشرق الأقصى خلال القرن 19
الشروط الجديدة لانتقال العلم الى الصين - النشاط العلمي الذي قامت به الارماليات - الجهود
المبدولة لنشر العلم الحديث من قبل السلطات الصينية في أواخر عهد الامبراطورية - النهضة العلمية
في اليابان منذ عهد الميجي
- 680 مراجع الفصل السادس
- 681 بيلوغرافيا متممة

هذه الموسوعة

العدد ٣٥ / ١٠٠٠

ساهم في تأليف هذه الموسوعة أكثر من
مئة عالم وباحث بإشراف البروفسور الكبير
ريشة تاتون ، المدير العلمي للمركز الوطني
للبحث العلمي في فرنسا .

وهي من أربعة مجلدات :

المجلد الأول :

العلم القديم والوسيط

من البدايات حتى سنة 1450 م .

المجلد الثاني :

العلم الحديث

من سنة 1450 إلى 1800 .

المجلد الثالث :

العلم المعاصر

القرن التاسع عشر .

المجلد الرابع :

العلم المعاصر

القرن العشرون .

